

ИРИНА АЛЕКСАНДРОВА

СНС МАШИНИ, ИНСТРУМЕНТИ И ТЕХНОЛОГИИ

ИРИНА АЛЕКСАНДРОВА

CNC МАШИНИ, ИНСТРУМЕНТИ И ТЕХНОЛОГИИ



УНИВЕРСИТЕТСКО ИЗДАТЕЛСТВО

“ВАСИЛ АПРИЛОВ”

ГАБРОВО, 2023

В учебника „CNC машини, инструменти и технологии” са разгледани основни въпроси, свързани с: теорията и практиката на обработването на материалите чрез рязане (същност, класификация и кинематична характеристика на процесите на рязане, стружкообразуване и видове стружки, сили на рязане, работа, мощност и топлинни явления); режещите инструменти (основни конструктивни елементи, геометрия, установяване, инструментални материали, износване и трайност); металоурежещите машини (класификация, формообразуване, движения, структура и системи за задвижване). Акцентирано е върху технологичните възможности, системите за управление и екипировката на машините с програмно управление.

Особено внимание е обрънато на технологичните процеси за обработване на основни видове повърхнини. Разгледани са технологичните възможности на процесите струговане, обработване на отвори чрез свредловане, зенкерование, райберование и разстъргване, фрезование, резбообработване и шлифование, както и инструментите и металоурежещите машини за тяхното реализиране. Акцентирано е върху особеностите на тези процеси при обработване върху CNC машини и върху избора на инструменти и режим на рязане.

Учебникът е предназначен за студентите от специалности „Компютърни технологии в машиностроенето”, „Мехатроника”, „Индустриални топлинни и газови системи”, „Технология на материалите и материалознание”, „Индустриален мениджмънт” и „Техническа безопасност”, образователно-квалификационна степен „бакалавър”, но може да се използва и от студенти от други инженерни специалности в Технически университет – Габрово, както и от инженерно-технически специалисти в областта на механичното обработване.

Рецензент: доц. д-р инж. Христо Цанев Метев

Автор: проф. д-р инж. Ирина Стефанова Александрова

Университетско издателство „Васил Априлов”, 2023

ISBN 978-954-683-680-9

1.1. ОСНОВНИ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЯТА НА МАШИНОСТРОЕНЕТО

1.1.1. Машиностроително изделие

Изделието е продукт на крайния етап на дадено производство. Следователно *машиностроителните изделия са продукти на машиностроителното производство*. Те могат да бъдат напълно завършени машини, по-сложни или по-прости градивни елементи на машини, както и отделни детайли или заготовки за изработване на детайли. Машиностроителни изделия са и различни видове съоръжения, апаратури, устройства, приспособления и инструменти, които се произвеждат с методите и процесите, прилагани при изработване на машините и на техните елементи.

Машиностроителните изделия (без тези, представляващи обработвани детайли или заготовки) се характеризират със своята структура, т.е. чрез елементите, от които са изградени, и чрез връзките между тях. *Основен елемент във всяка структура на машиностроително изделие е детайлът*, характеризиращ се с това, че е получен от един къс материал и в него няма никакви съединения. *Съединението на два или повече детайла, независимо от неговия характер, се нарича възел*. Характерен белег на възела е, че той може да се сглоби отделно от другите елементи на машиностроителното изделие.

Всяко изделие има определено предназначение – точно формулирана задача, за решаването на която то се създава. За да може да изпълнява икономически изгодно своето предназначение, изделието трябва да има необходимото качество.

Качеството на изделието е съвкупност от свойства (потребителски, технологични, ергономични, естетични и др.), които обуславят пригодността му да удовлетворява определени потребности в съответствие с предназначението си. То се характеризира чрез система от показатели, всеки от които дава количествена характеристика на едно или едновременно на няколко свойства на изделието. В първия случай показателят е единичен, а във втория – комплексен. За всеки показател се определят номинална стойност и гранични отклонения, осигуряващи икономично изпълнение на предназначението на изделието.

Показателите на качеството могат да се систематизират в три групи:

- ✓ *показатели на техническото равнище* – определят степента на съвършенство на изделието (например мощност, коефициент на полезно действие, производителност, точност, икономичност на дадена машина);
- ✓ *производствено-технологични показатели* – фиксират ефективността на конструктивните решения от гледна точка на осигуряването на оптимални разходи за труд и средства при изработване, използване, обслужване и ремонт на дадено изделие;
- ✓ *експлоатационни показатели* – надеждност, ергономичност, естетичност.

При конструиране на едно изделие трябва да се съчетават експлоатационните изисквания, предявявани към него, с изискванията за неговото най-рационално и икономично изработване. В това се състои *принципът на технологичност на конструкцията*. Технологична е тази конструкция, която осигурява при дадените производствени условия експлоатационните показатели на изделието и изисква най-малко труд, време и средства за изработването му. Колкото са по-малки трудоемкостта и себестойността за изработване на дадено изделие, толкова то е по-технологично.

Технологичната конструкция на изделията трябва да предвижда [3, 35, 44]:

- ✓ максимално използване на стандартизирани и нормализирани детайли и на унифицирани сглобени единици;
- ✓ възможно по-малък брой детайли с оригинална и сложна конструкция и различни наименования, както и по-голяма повтаряемост на едноименните детайли;
- ✓ създаване на детайли с рационална форма, с леснодостъпни за обработване повърхнини и с достатъчна якост и стабилност с цел намаляване на трудоемкостта и себестойността на обработването;
- ✓ наличие на удобни повърхнини за технологични бази или възможност за създаване на изкуствени технологични бази;
- ✓ рационални методи за изработване на заготовките за детайлите (отливки, изковки, щамповки, прътов материал) с размери и форма, възможно най-близки до тези на готовите детайли, т.е. обезпечавачи най-висок коефициент на използване на материала и най-малка трудоемкост на механичната обработка;
- ✓ пълно изключване или минимално използване на шлосерско-прогонващи операции при сглобяване чрез изработване на взаимозаменяеми детайли, прилагане на детайли-компенсатори и механизация и автоматизация на сглобяването;
- ✓ опростяване на процесите на сглобяване и възможност за паралелно сглобяване във времето и пространството на отделни сглобени единици и цели изделия.

Технологичността на конструкцията трябва да се оценява в процеса на създаване на изделията, при тясно сътрудничество между конструктора и технолога. Оценката може да е качествена (например добра – лоша; допустима – недопустима) и/или количествена, която се провежда въз основа на определени показатели на технологичност (трудоемкост на конструкцията; коефициент на използване на материала; коефициент на точност на изработването; коефициент на грапавост на повърхнините; степен на използване на стандартизирани и нормализирани детайли и унифицирани сглобени единици; съотношение между броя детайли с оригинална и сложна конструкция и общото количество детайли в изделието; коефициент на повтаряемост на едноименните детайли; себестойност на изработване на детайлите, сглобените единици и на цялото изделие и др.) [3].

Технологичността на конструкцията на изделията зависи от типа на производството, производствените възможности на предприятието, вида на

използваното оборудване и методите на обработване. Едно изделие, което е технологично в условията на единично производство, може да се окаже нетехнологично в условията на автоматизирано масово производство. Ако в условията на единично производство се използват машини с цифрово програмно управление (CNC машини), технологичността на конструкцията на изделието, произвеждано при тези условия, съществено се различава от тази на изделие, произвеждано с използване на универсално оборудване. С внедряването на нови методи за обработване нетехнологичните конструкции могат да станат технологични.

Осигуряването на технологичността на дадена конструкция е свързано не само с подобряване на условията и намаляване на разходите за производство на изделията, но и с осигуряване на оптимални условия за тяхната експлоатация и ремонт. Конструкцията на изделието трябва да е удобна за обслужване и да е ремонтпригодна. Това е важно, тъй като разходите за ремонт често превишават себестойността за изработване на дадено изделие. Повишаването на ремонтпригодността осигурява простота и удобство при сглобяване и разглобяване на изделието, прилагането на принципа за смяна и ремонт на неговите сглобени единици, както и възможност за възстановяване на най-сложните детайли.

1.1.2. Производствен процес

Производственият процес е съвкупност от взаимно свързани действия за превръщане на природните суровини в изделия, необходими за удовлетворяване на определени потребности. Производственият процес в машиностроителното предприятие е част от цялостния производствен процес за преработване на продуктите на природата в изделия и обхваща всички взаимосвързани действия, в резултат на които от постъпващите в предприятието изходни материали, полуфабрикати и други градивни елементи се получават изделия, отговарящи на предназначението си. Той включва [7, 21]:

- ✓ подготовката на средствата за производство и организацията на обслужването на работните места;
- ✓ получаването и съхраняването на материалите и полуфабрикатите;
- ✓ всички етапи от изработването на детайлите;
- ✓ сглобяването на изделията;
- ✓ транспортирането на материалите, заготовките, детайлите, сглобените единици и готовите изделия;
- ✓ техническия контрол на всички етапи от производството;
- ✓ опаковането на готовата продукция;
- ✓ други действия, свързани с изработването на изделията.

Характеристиката на производствения процес обхваща няколко аспекта:

- технологичен – отразява връзката с методите и процесите за преработване и обработване на материали, суровини и полуфабрикати;
- транспортен - отразява връзката с методите за транспортиране, складиране и съхраняване на суровини, материали, полуфабрикати, продукция;
- икономически – свързан е с осигуряване на максимална икономическа ефективност на производствения процес;

- организационен – отразява проблема за осъществяване на оптимална организация на труда и производството;
- социален – отразява проблема за регулиране на взаимоотношенията между хората – изпълнители на дейности в производствения процес.

1.1.3. Технологични процеси

А. Определение и класификация

Технологичният процес е част от производствения процес, по време на която се изменя качествено състояние на обекта на производство.

Качественото състояние се изменя по отношение на формата, размерите и относителното разположение на повърхнините, физико-механичните свойства на материала, външния вид и др. Например при механично обработване се изменят главно формата и размерите на обработвания детайл, при термична обработка – физико-механичните свойства на материала на обработвания детайл, при сглобяване – относителното разположение и връзките между детайлите в сглобените единици, при боядисване – външният вид на изделията.

Промените в качествено състояние обаче са невъзможни без някои други действия, които сами по себе си не оказват влияние върху него – например пускане и спиране на машините, измервания по време на обработването на детайлите, закрепване и снемане на детайлите от приспособленията и машините и др. Тези действия, поради това че са непосредствено свързани с измененията на качествено състояние и са необходими за осъществяването им, също се включват в технологичния процес.

Технологичните процеси се изпълняват от работници с помощта на технологични машини и системи и технологична екипировка. Технологичната екипировка включва средства, допълващи технологичните машини за изпълнение на определени части от технологичния процес, като режещи инструменти, спомагателни, измервателни и контролни средства, приспособления за установяване на обработваните детайли и др.

Технологичните процеси за изработване на машиностроителни изделия са три групи:

- ✓ *технологични процеси за изработване на заготовки;*
- ✓ *технологични процеси за обработване на заготовките до готови детайли;*
- ✓ *технологични процеси за сглобяване.*

Според броя на изделията или детайлите, обхванати от технологичния процес, той е *единичен* (обхваща изработването на изделия или детайли с еднакво наименование, конструкция и типоразмер) или *унифициран* (обхваща изработването на изделия или детайли с различни наименования, конструкции и типоразмери). *Унифицираният технологичен процес може да бъде групов или типов.* Груповият технологичен процес е предназначен за изработване на група изделия или детайли с различни конструкции и размери, но изискващи еднотипни методи за обработване, осъществявани с едно и също технологично оборудване (машини и екипировка), а понякога и настройване на различните операции на процеса. Типовият технологичен процес се разработва за обработване на типов представител на група изделия или детайли, близки по

конструкция, с общи конструктивни и технологични признаци и общ план за обработване на основните повърхнини.

Според основното си предназначение технологичните процеси са *работни* и *перспективни*. Работните технологични процеси са предназначени за изработване на изделия или детайли, а перспективните служат като информационна база при разработване на нови работни технологични процеси.

Според степента на детайлизиране технологичните процеси са *маршрутни*, *операционни* и *маршрутно-операционни*. Те могат да бъдат *стандартизирани* и *нестандартизирани*.

Б. Структура на технологичен процес

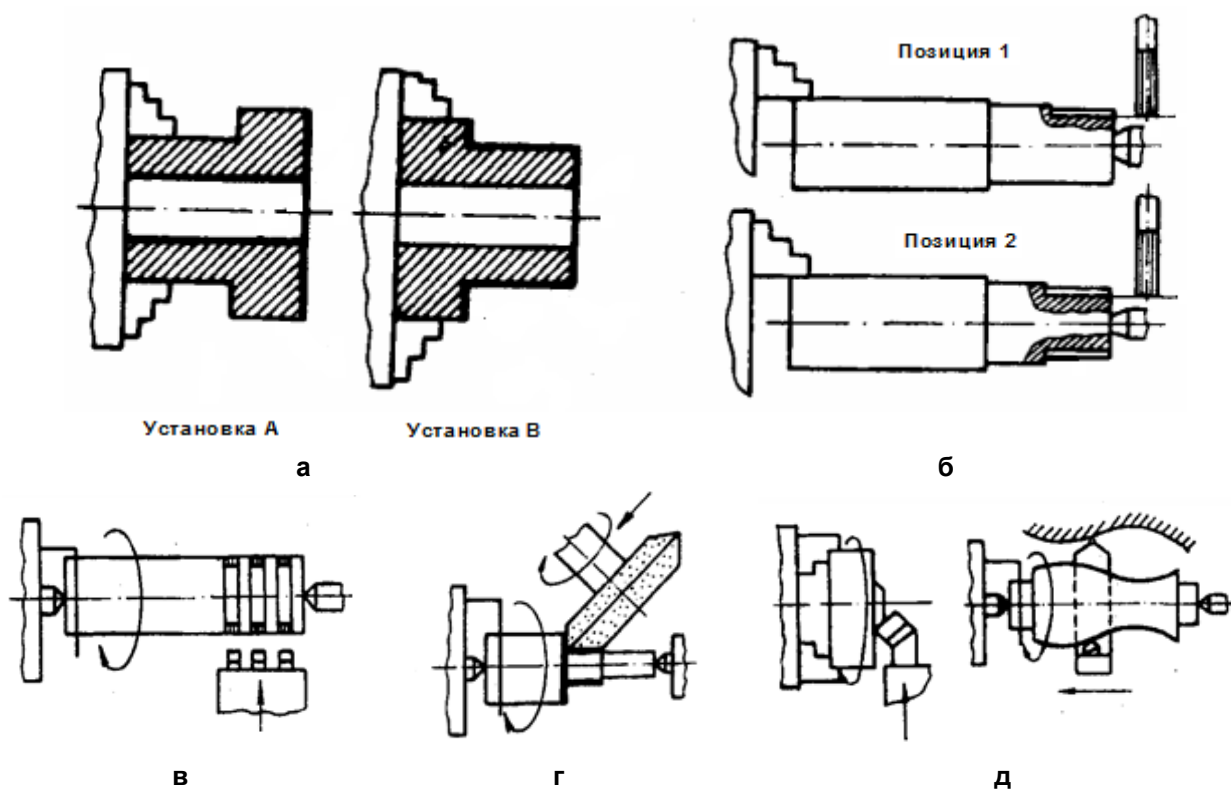
Технологичните процеси се изпълняват на отделни работни места. С изключение на някои прости случаи, практически е невъзможно един технологичен процес да се осъществи изцяло и без прекъсване на едно и също работно място. Затова, поради технически и организационни причини, *технологичните процеси се разделят на относително обособени части, които са техни структурни елементи. Тези елементи са операции, установки, позиции, преходи и ходове* (Фиг. 1.1).

Технологичната операция е завършена част от технологичния процес, която се изпълнява непрекъснато на едно работно място. Тя се характеризира с неизменност на предмета на труда - обработваният детайл (или детайли) или сглобяваният възел (или възли) са едни и същи. През време на технологичната операция изпълнителят (или изпълнителите) остава един и същ. Въз основа на технологичните операции се извършва планиране и отчитане на производството.

Технологичните операции, влизащи в състава на технологичния процес, се изпълняват в определена последователност, която се нарича маршрутен технологичен процес. За изпълнение на отделните операции обработваният детайл или сглобяваната единица преминават последователно от едно работно място на друго. Тази последователност се нарича технологичен маршрут.

Не винаги цялата операция може да се изпълни при едно и също установяване (ориентиране и закрепване в приспособление) на детайла или сглобявания възел. ***Частта от операцията, изпълнявана при едно установяване на обработвания детайл (или сглобявания възел) и при едно настройване на машината, се нарича установка*** (Фиг. 1.1 а).

Ако обработваните заготовки или сглобяваните възли бъдат установени върху подходящи приспособления, различните положения, които те трябва да заемат при изпълнението на технологичната операция, могат да се получат и при неизменно закрепване, т.е. при една и съща установка. ***Всяко от различните положения, които обработвания детайл или сглобявания възел (заедно с приспособлението) заемат спрямо инструмента или неподвижните части на съоръжението при неизменно закрепване, се нарича позиция*** (Фиг. 1.1 б). Една установка може да съдържа една или няколко позиции.



Фиг. 1.1. Елементи на технологична операция

а – установка (обработване на челни и цилиндрични повърхнини на втулка чрез струговане);
 б – позиция (фрезоване на два шпонкови канала, разположени на 180° диаметрално по шийката на вала); в – преход (едновременно струговане на три канала); г – преход (едновременно шлифване на цилиндрична и челна повърхнина с профилен шлифовъчен диск; д – преход (обработване при закономерно изменяща се скорост на рязане)

Технологичните преходи са основни технологични елементи, от които се формира операцията. Те са работни и спомагателни.

Работният технологичен преход е завършена част от технологичната операция, която се извършва над една повърхнина или група повърхнини (Фиг. 1.1 в,г,д). Когато преходът е част от технологична операция за обработване на детайл, той се характеризира с неизменност на обработваната повърхнина или на група повърхнини, а когато е част от технологична операция за сглобяване – с неизменност на сдружаваните повърхнини. **Работният преход се извършва с един и същ инструмент или с група едновременно работещи инструменти. Елементите на режима на рязане се запазват постоянни или закономерно се изменят.**

Спомагателният преход е завършена част от операцията, състояща се от действия на оператора или оборудването, несвързани с изменението на качествено състояние на обекта на производство, но необходими за изпълнение на технологичния процес (например установяване на обработвания детайл, смяна на инструмента и др.).

Ходовете са части от технологичния преход и са работни и спомагателни.

Работният ход е завършена част от технологичния преход, свързана със свалянето на слой материал при еднократно едноразовно движение на инструмента или на групата инструменти спрямо обработвания детайл

(или обратно), съпроводено с изменение на качествените показатели на предмета на труда. Отделните ходове от един преход се извършват с един и същ инструмент и при еднакъв режим на рязане.

Спомагателният ход е завършена част от технологичния преход, извършвана при еднократно едноразовно преместване на един или няколко инструмента спрямо обработвания детайл (или обратно - на детайла спрямо инструмента/ите), без да се изменя качественото състояние на предмета на труда.

1.1.4. Типове машиностроително производство

В зависимост от номенклатурата, производствената програма и икономическите условия за осъществяване на производствения процес се различават три основни типа производство - *единично, серийно и масово.*

Типът на производството се характеризира с коефициента на закрепване на операциите:

$$K_{30} = O / P, \quad (1.1)$$

където O е броят на различните операции, а P – броят на работните места, на които се изпълняват различни операции.

Стойностите на коефициента на закрепване на операциите за различните типове производства са:

- ✓ единично производство – $K_{30} > 40$;
- ✓ дребносерийно производство – $20 < K_{30} \leq 40$;
- ✓ средносерийно производство – $10 < K_{30} \leq 20$;
- ✓ едросерийно производство – $1 < K_{30} \leq 10$;
- ✓ масово производство – $K_{30} = 1$.

Единичното производство се характеризира с широка номенклатура и малко количество на изработваните или ремонтираните изделия. Изделията са разнообразни по конструкция и размери, изработването им се повтаря рядко през неопределен интервал от време или въобще не се повтаря. Характерен признак на единичното производство е изпълнението на едно работно място на различни операции без периодично повтаряне. Машините са универсални и са разположени в производствените участъци по видове (стругове, фрезови машини, шлифовъчни машини и др.). Използват се универсални приспособления, режещи и измервателни инструменти. Работниците в производството са с висока квалификация. Производителността на труда е ниска, а себестойността на изделията – висока.

Серийното производство се характеризира с ограничена номенклатура и сравнително голямо количество на изделията, както и с определена честота на повторяемост на производството им във времето. То се подразделя на дребно-, средно- и едросерийно. Дребносерийното производство по своя характер се доближава до единичното, а едросерийното – до масовото производство.

При серийното производство технологичният процес се разделя на операции, които са закрепени към определени машини и работни места. Характерен признак на серийното производство е изпълнението на едно работно място на няколко периодично повтарящи се операции. Използват се универсални, специализирани и

специални машини, както и машини с програмно управление. Прилагат се специализирани и специални приспособления и режещи инструменти. Измервателните инструменти са както универсални, така и специални – калибри, шаблони и др. Те осигуряват взаимозаменяемост на обработените детайли. Работниците са с по-ниска квалификация от тези при единичното производство. Производителността на труда е значително по-висока, а себестойността на продукцията - по-ниска от тази при единичното производство.

Масовото производство се характеризира с ограничена номенклатура и голямо количество на произвежданите изделия, непрекъснато изработвани или ремонтирани в течение на продължително време. Обектът на производството е установен, което при значителното количество на произвежданите изделия създава възможност за закрепване на операциите към определени машини и работни места, разположени по технологичната последователност. Характерен признак на масовото производство е изпълнението на едно работно място само на една, постоянно закрепена за него операция. Широко се използват специализирани и специални машини, автоматични линии и комплекси, въвеждат се механизация и автоматизация на производствените процеси. Режещите инструменти за изпълнение на отделните операции са предимно специални и специализирани. Като измервателни инструменти се използват калибри, специални уреди и приспособления. Спазват се принципите на взаимозаменяемостта, които водят до рязко съкращаване на трудопоглъщаемостта на работите по сглобяването. Производителността на труда е най-голяма, а себестойността на изделията - най-ниска в сравнение с другите типове производства.

В масовото и едросерийното производство се създават условия за тясна специализация на работните места, за всяко от които е закрепена само една операция. Оборудването се разполага в съответствие с хода на технологичния процес във вид на поточна линия. На всяка линия се изработва само един детайл или се сглобява само един възел. Технологичният процес се построява при спазване на принципите на диференциация и концентрация на операциите, като стремежът е да се осигури пълната му автоматизация.

При използване на принципа на диференциацията технологичният процес се разделя на елементарни операции с приблизително еднакво време за изпълнението им, което е равно или кратно на такта. На всяка машина се изпълнява определена операция, обикновено с един или два прехода. Използват се специални и тясно специализирани машини, снабдени със специални приспособления, които често са несменяема част от машините.

При използване на принципа на концентрацията технологичният процес се осъществява чрез обединяване на операциите, които се извършват на многовретенни автомати, полуавтомати, агрегатни, многопозиционни и многоножови машини при малък разход на основно време.

В машиностроенето непрекъснато нараства относителният дял на дребносерийното и единичното производство (около 80%). В тази връзка се развиват гъвкавите автоматизирани производствени системи, съставени от машини с цифрово програмно управление.

1.1.5. Форми на организация на производството

В машиностроенето се използват три основни форми на организация на производството – *групова, предметна и поточна*.

Груповата организация се прилага при единично и дребносерийно производство. Машините са групирани в специализирани участъци. В отделните участъци се изпълнява обикновено една операция, поради което за изпълнение на целия технологичен процес е необходимо детайлът (партидата) да премине през няколко участъка. Технологичният процес се характеризира с чести прекъсвания. Това се дължи на смяната на обектите на производство, териториалната обособеност на машините и затрудненото календарно планиране поради голямата номенклатура на изделията.

Предметната организация се прилага при дребно- и средносерийно производство. Съществен признак на тази организация е предметното разполагане на работните места и на машините в последователност, отговаряща на технологичния процес. За разлика от груповите, в предметните участъци се разполагат различни машини. Планирането на предметните участъци изисква предварително проектиране на технологичните процеси с разделянето им на прости и лесно изпълними операции, които се осъществяват от машини, разположени в съответствие с последователността на технологичния процес.

Поточната организация се характеризира с това, че изделията в процеса на изработването или сглобяването им преминават от операция на операция без прекъсване или с малки прекъсвания. Технологичният процес се разделя на такива прости операции, които дават възможност да се създаде поточна линия. Работните места се подреждат във вид на верига (или линия), съответстваща на хода на технологичния процес.

Поточното производство се характеризира с понятията *такт, ритъм* и *темп*.

Тактът на производството е интервалът от време между излизанията от поточната линия на готово изделие:

$$T_p = F / N, \quad (1.2)$$

където F е ефективният фонд от време за годината в часове, а N – броят на изделията, които трябва да се изработят за една година.

Темпът е обратно пропорционален на такта и определя количеството изделия, които произвежда поточната линия за единица време.

Ритъмът е интервалът от време, за който поточната линия изработва една партида изделия.

Преминаването от непоточна към поточна форма на организация на производството води до съкращаване на производствения цикъл, усъвършенстване на технологичния процес и повишаване на производителността на труда.

1.2. ПРОЦЕСИ НА РЯЗАНЕ

1.2.1. Същност и класификация на процесите на рязане

Обработването чрез рязане (механично обработване) е един от най-разпространените методи за обработване на материалите (метални и неметални), който се реализира върху металорежещи машини с режещи

инструменти. Същността на метода се състои в срязване на определен слой материал (*прибавка*) от обработвания детайл (заготовката) във вид на *стружка*, при което се предават необходимата форма, размери и качество на обработения детайл. Прибавката може да се отделя едновременно от няколко повърхнини на обработвания детайл или последователно от всяка обработвана повърхнина. Понякога прибавката е толкова голяма, че трябва да се отделя за няколко хода. След срязване на цялата прибавка се получава готов детайл.

В процеса на рязане върху обработвания детайл се формират три повърхнини:

- ✓ *обработвана*, която частично или напълно се отделя при обработката;
- ✓ *обработена* – образува се в резултат на обработката;
- ✓ *повърхнина на рязане* – образува се от режещия ръб на инструмента в резултат на резултантното движение на рязане и е преходна повърхнина между обработваната и обработената повърхнина.

Рязането на материалите е процес, който се извършва във времето и се съпровожда от редица физико-механични явления. Той зависи от конструкцията и геометрията на режещия инструмент, условията на работа и характеристиките на металорежещата машина. В процеса на рязане се получава локално пластично деформиране и разрушаване на повърхностния слой от врязването на режещия клин на инструмента в обработвания детайл. Отделяните стружки са силно пластично деформирани и имат характерна форма и размери. Явленията, които протичат в процеса на рязане, са най-често универсални и общовалидни за различните процеси на механично обработване, за използваните обработвани материали и режещи инструменти.

В зависимост от формата и положението на обработените повърхнини и от вида на режещия инструмент процесите на механично обработване се класифицират по следния начин:

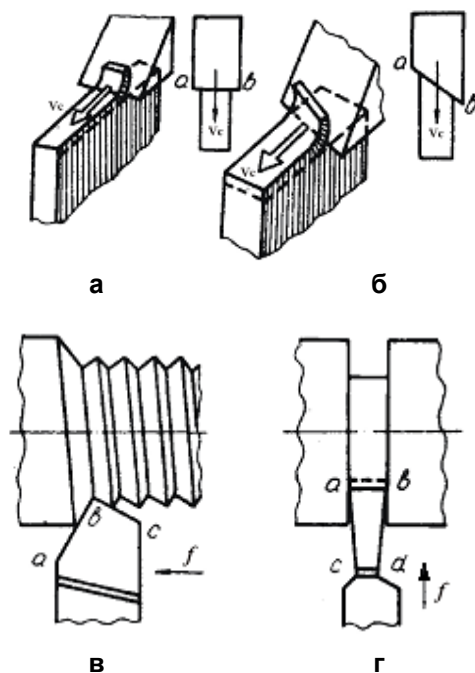
- ***струговане*** – обработване на външни и вътрешни ротационни (цилиндрични, конусни, профилни) и челни повърхнини със стругарски ножове;
- ***стъргане и дълбане*** – обработване на равнинни и профилни повърхнини с линейни образуващи със стъргателни или дълбачни ножове;
- ***обработване на отвори с размерни инструменти (свредловане, зенкерование, райберование)*** – обработване на вътрешни ротационни повърхнини със свредла, зенкери или райбери;
- ***фрезование*** – обработване на равнинни и профилни повърхнини, прорязване на канали (прави и винтови) и др. с фрези;
- ***протегляне*** – обработване на външни и проходни вътрешни повърхнини с различен профил с многозъби инструменти (протяжки или прошивки);
- ***зъбонарязване*** – обработване на повърхнини на зъби на зъбни колела със зъбонарязващи инструменти;
- ***резбонарязване*** – обработване на вътрешни и външни повърхнини с резбонарязващи инструменти;
- ***шлифование*** – обработване на вътрешни и външни ротационни и равнинни повърхнини с абразивни (шлифовъчни) инструменти.

В зависимост от характеристиките на механичното обработване и качеството на обработените повърхнини се различават:

- **грубо обработване** – целта е да се снее голяма прибавка за кратко време, като не се поставят изисквания за точност и грапавост на обработената повърхнина;
- **получисто обработване** – характеризира се със снемане на сравнително малки прибавки и се използва, когато се поставят невисоки изисквания по отношение на точност и грапавост на обработената повърхнина;
- **чисто обработване** – снемат се малки прибавки и се изисква постигане на висока точност и малка грапавост на обработените повърхнини;
- **фино обработване** – характеризира се със снемане на много малки прибавки и много високи изисквания за точност и грапавост на обработените повърхнини.

Голямото разнообразие от процеси за механично обработване може да се сведе до малък брой основни случаи (Фиг. 1.2), които се класифицират по следните признаци: брой на участващите в работа режещи ръбове; ориентация на главния режещ ръб спрямо вектора на скоростта на рязане; време на работа на режещия ръб; характер на елементите на режима на рязане.

1. Според броя на участващите в работа режещи ръбове рязането е свободно (Фиг. 1.2 а,б) **и несвободно** (Фиг. 1.2 в,г). Рязането е свободно, ако в работа участва само един праволинеен режещ ръб и неговата дължина е по-голяма от широчината на обработваната повърхнина, а несвободно – ако участват два или повече, свързани по определен начин, режещи ръба с праволинейна или криволинейна форма.



Фиг. 1.2. Основни случаи на процеса рязане

а – свободно правоъгълно; б – свободно косоъгълно; в,г – несвободно

При **свободно рязане** направлението на изместване на отделните участъци от стружката във всички точки от работната част на режещия ръб е еднакво. Примери за свободно рязане са: струговане на цилиндричната повърхнина на диск с напречно подаване; струговане на челото на тръба; стъргане и външно протегляне на един ход.

Несвободното рязане се характеризира с това, че отделните части на стружката по дължината на работната част на режещия ръб имат различни направления на отвеждане и различни характеристики на пластична деформация. Примери за несвободно рязане са: външно и вътрешно струговане с надлъжно или напречно подаване; свредловане; зенкерование; райберование; цилиндрично и челно фрезование; вътрешно протегляне.

2. Според ориентацията на главния режещ ръб спрямо вектора на скоростта на рязане се различават правоъгълно (ортогонално) (Фиг. 1.2 а) и косоъгълно (наклонено) (Фиг. 1.2 б) рязане. Положението на режещия ръб по отношение на скоростта на рязане се характеризира с ъгъла на наклона на главния режещ ръб λ_s .

Рязането се нарича правоъгълно, ако главният режещ ръб е перпендикулярен на вектора на скоростта на рязане ($\lambda_s = 0^\circ$), а косоъгълно, когато режещият ръб не е перпендикулярен на вектора на скоростта на рязане ($\lambda_s \neq 0^\circ$). При правоъгълно рязане стружката има форма на логаритмична спирала и посоката ѝ на отвеждане е почти перпендикулярна на режещия ръб, а при косоъгълно рязане стружката има форма на винтова спирала и посоката ѝ на отвеждане е надясно или наляво спрямо перпендикуляра към режещия ръб.

Свободното и несвободното рязане могат да бъдат правоъгълно или наклонено. Рязането, показано на Фиг. 1.2 а, е свободно правоъгълно, тъй като работи само един режещ ръб ab , който е перпендикулярен на скоростта на рязане. На Фиг. 1.2 б е показана схема на свободно косоъгълно рязане. При обстъргване (Фиг. 1.2 в) рязането е несвободно, понеже в работа участват главният режещ ръб ab и спомагателният режещ ръб bc . При отрязване с нож (Фиг. 1.2 г) работят три режещи ръба – главният ab и спомагателните ac и bd и рязането също е несвободно. При последните две схеми рязането може да бъде правоъгълно или косоъгълно в зависимост от стойността на ъгъла на наклона на режещия ръб λ_s - ако $\lambda_s = 0^\circ$, рязането е правоъгълно, а ако $\lambda_s \neq 0^\circ$ - косоъгълно.

3. Според времето на работа на режещия ръб рязането е прекъснато или непрекъснато.

Прекъснато рязане се извършва, когато режещият ръб в определен интервал от време обработва дадена повърхнина и в друг, следващ интервал от време, не участва в процеса на рязане. Типични примери на прекъснато рязане са: стъргане; дълбане; цилиндрично и челно фрезование.

Непрекъснато рязане се извършва, когато режещият ръб участва при обработването на дадена повърхнина през целия интервал от време. Типични примери за непрекъснато рязане са: външно и вътрешно струговане; свредловане; зенкерование; райберование.

4. Според характера на елементите на режима на рязане рязането е стационарно или нестационарно.

Стационарно рязане се извършва, когато при обработването на дадена повърхнина елементите на режима на рязане са постоянни или се приемат за практически постоянни. Примери за стационарно рязане са външното и вътрешното струговане с надлъжно подаване.

Нестационарно рязане се извършва, когато при обработване на дадена повърхнина поне един от елементите на режима на рязане се изменя по определен начин. Примери на нестационарно рязане са струговането с напречно или наклонено подаване, профилното фрезование и др.

1.2.2. Кинематична характеристика на процеса на рязане

1.2.2.1. Работни движения при обработване на материалите чрез рязане

За да се осъществи отделянето на прибавката в процеса на механично обработване, обработваният детайл и инструментът извършват относителни движения с определена скорост и посока. Тези движения се наричат **работни**, осъществяват се от преводите на металорежещите машини и са свързани с получаването на обработената повърхнина.

При обработване чрез рязане се различават:

- **главно движение на рязане** – движение на инструмента или обработвания детайл, което се реализира с най-висока скорост и в резултат на което се извършва отделянето на стружка;
- **подавателно движение** – движение, което поддържа процеса на връзване на режещия ръб на инструмента в нови слоеве материал на обработвания детайл.

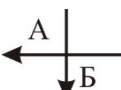
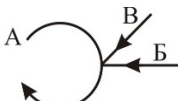
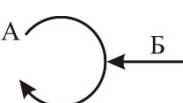
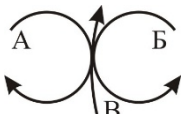
Всеки процес на механично обработване има едно главно движение и едно или повече подавателни движения. Те се извършват едновременно или последователно от обработвания детайл и/или режещия инструмент.

Работните движения са **въртеливи** или **праволинейни**, **непрекъснати** или **прекъснати**, **равномерни** или **неравномерни**.

Броят на движенията, с помощта на които се реализира процесът на рязане, е различен. **Съвкупността от необходимите и достатъчни относителни движения на обработвания детайл и режещия инструмент за получаване на повърхнина с определено качество се нарича кинематична схема на рязане.** На тази схема се показват и елементите на режима на рязане. **Съчетанието на относителните движения с количествено изразените елементи на режима на рязане представлява модел на кинематиката на процеса на рязане.**

В зависимост от броя и характера на работните движения се различават осем групи кинематични схеми на рязане (Таблица 1.1 [57]).

Таблица 1.1. Кинематични схеми на рязане

1 	5 	1. едно праволинейно движение; 2. две праволинейни движения; 3. едно въртеливо движение; 4. едно въртеливо и едно праволинейно движение; 5. две въртеливи движения; 6. две праволинейни и едно въртеливо; 7. две въртеливи и едно праволинейно; 8. три въртеливи движения.
2 	6 	
3 	7 	
4 	8 	

Всеки реален процес на рязане попада в една от тези групи. Например при протегляне кинематичната схема на рязане е от първа група, при стъргане по копир – от втора група, при струговане, свредловане и фрезование на равнинни

повърхнини – от четвърта група, при фрезозане на ротационни повърхнини – от пета група, при нарязване на зъбни колела по метода на обхождането и при кръгло шлифоване – от седма група.

1.2.2.2. Елементи на режима на рязане и на срязвания слой материал

А. Елементи на режима на рязане:

- *скорост на рязане;*
- *подаване;*
- *дълбочина на рязане.*

Работната (действителната) скорост на рязане е резултантната скорост от скоростта на главното движение V_c и скоростта на подавателното движение V_f :

$$\vec{V}_e = \vec{V}_c + \vec{V}_f. \quad (1.3)$$

Тъй като $V_f \ll V_c$, за скорост на рязане се приема скоростта на главното движение. Тя се изразява с относителното преместване на режещия ръб на инструмента спрямо обработваната повърхнина на детайла или обратно в посока на главното движение. При въртливо движение скоростта на рязане се определя с формулата:

$$V_c = 10^{-3} \pi D n, \text{ m/min}, \quad (1.4)$$

където: D - диаметър на обработваната повърхнина или на режещия инструмент, mm ; n - честота на въртене на обработвания детайл или на режещия инструмент, min^{-1} .

При шлифоване за скоростта на рязане се получава голямо число, поради което е прието дименсията да е m/s :

$$V_c = 10^{-3} 60^{-1} \pi D n, \text{ m/s}, \quad (1.5)$$

където D и n са диаметър и честота на въртене на шлифовъчния диск.

При праволинейно възвратно-постъпателно главно движение скоростта на рязане зависи от честотата на двойните ходове n на обработвания детайл или на инструмента и от дължината на работния ход L_p :

$$V_c = 10^{-3} L_p \cdot n(k + 1), \text{ m/min}, \quad (1.6)$$

където: $k = V_p / V_n$ - коефициент на скоростите, определен от средните скорости на работния ход V_p и на празния ход V_n .

Подаването представлява дължината на пътя на относителното преместване на режещия ръб на инструмента спрямо обработвания детайл или обратно в посока на подавателното движение за един оборот или за един двоен ход.

Подаването може да бъде:

- *праволинейно* (надлъжно, напречно, наклонено), изразено с линейната величина f , mm/rev или $mm/дв.х.$;

- *кръгово* (например при шлифоване) - V , m/min .

При многозъбни инструменти (свредла, зенкери, фрези, протяжки и др.) подаването може да бъде отнесено към един режещ зъб на инструмента и се

нарича *подаване на зъб* - f_z , mm/z. Зависимостта между подаването на оборот и подаването на зъб е:

$$f = z f_z, \text{ mm/rev}, \quad (1.7)$$

където z е броят на режещите зъби; $f = f_z$, когато режещият инструмент има само един зъб (стругарски нож).

Подаването за една минута работа на инструмента (f_m) се нарича минутно подаване и се определя от зависимостта:

$$f_m = z f_z n, \text{ mm/min}. \quad (1.8)$$

От минутното подаване се определя *подавателната скорост V_f* :

$$V_f = 10^{-3} f_m, \text{ m/min}. \quad (1.9)$$

Дълбочината на рязане a , mm, е разстоянието между обработваната и обработената повърхнина, измерено по нормалата към направлението на подавателното движение. Тя се определя с размера на срязвания слой материал при получаване на обработената повърхнина за един ход на инструмента. Прибавката Z може да се снесе на един ход ($i=1$, $a=Z$) или на няколко хода i при $a \neq Z$. При $i \geq 2$ дълбочините на рязане за отделните ходове могат да са равни ($Z=i \cdot a$) или да не са равни помежду си ($Z=a_1 + a_2 + \dots + a_m$).

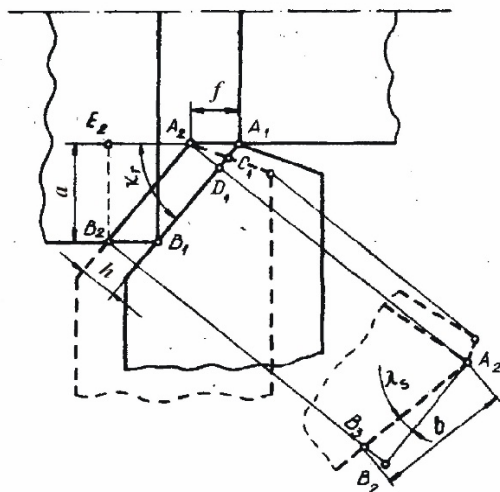
Подаването и дълбочината на рязане при чисто обработване имат по-малки стойности, за да се получи по-добро качество на обработената повърхнина, а при грубо обработване са по-големи с цел получаване на по-висока производителност.

Б. Елементи на срязвания слой

Елементите на срязвания слой определят големината и формата на напречното сечение на срязвания слой преди той да се отдели от обработвания детайл. Това са ***дебелината h , широчината b и площта на напречното сечение A на срязвания слой.*** Размерите на срязвания слой се различават от тези на стружката вследствие на протичащата в процеса на рязане деформация. Елементите на срязвания слой по-добре характеризират явленията, съпровождащи процеса на рязане.

Дебелината на срязвания слой h , mm, е разстоянието, измерено нормално към главния режещ ръб при неговото относително изместване за един оборот или за един двоен ход на обработвания детайл. Тя е постоянна при почти всички процеси на рязане (струговане, свредловане, стъргане, протегляне и др.). При фрезоване дебелината h е променлива за различните положения на режещия ръб на зъба. При този процес се въвежда величината *моментна дебелина на срязвания слой*.

Широчината на срязвания слой b , mm, се измерва по дължината на режещия ръб и изразява неговата работна дължина. Широчината b може да бъде постоянна (при струговане, свредловане, стъргане, протегляне, фрезоване с фреза с прави зъби и др.) и променлива (при фрезоване с фреза с винтови зъби).



Фиг. 1.3. Елементи на режима на рязане и срязвания слой при струговане

Между елементите на срязвания слой и елементи на режима на рязане съществуват еднозначни геометрични връзки (Фиг. 1.3).

При правоъгълно рязане ($\lambda_s = 0^\circ$) дебелината и широчината на срязвания слой се определят с формулите:

$$h = f \sin \kappa_r; \quad (1.10)$$

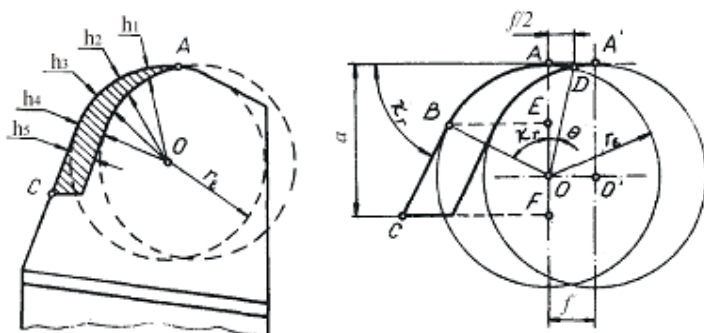
$$b = \frac{a}{\sin \kappa_r}, \quad (1.11)$$

където κ_r е главният установъчен ъгъл на режещия инструмент.

При косоъгълно рязане ($\lambda_s \neq 0^\circ$) широчината на срязвания слой се определя от зависимостта:

$$b = \frac{a}{\sin \kappa_r \cos \lambda_s}. \quad (1.12)$$

Зависимости (1.10) до (1.12) се прилагат, когато режещият ръб е праволинеен и радиусът при върха $r_\varepsilon = 0$.



Фиг. 1.4. Сечение на срязвания слой при криволинеен режещ ръб

Когато режещият ръб е криволинеен или е комбинация от права линия и закръгление при върха с радиус $r_\varepsilon \neq 0$, напречното сечение на срязвания слой има постоянна широчина b и променлива дебелина h_j в различните точки (Фиг. 1.4).

Обобщената формула за пресмятане на широчината на срязвания слой е [16]:

$$b = r_\varepsilon \left(\kappa_r + \arcsin \frac{f}{2r_\varepsilon} \right) + \frac{a - r_\varepsilon (1 - \cos \kappa_r)}{\sin \kappa_r}. \quad (1.13)$$

Средната дебелина на срязвания слой h_m се определя като отношение на площта на напречното сечение на срязвания слой A и неговата широчина в един и същ момент от време:

$$h_m = \frac{A}{b}, \text{ mm}. \quad (1.14)$$

Общата площ на напречното сечение на срязвания слой A , mm^2 , е:

$$A = z_e A_z = z_e a f_z \sin \delta, \quad (1.15)$$

където: δ - ъгъл, заключен между направленията на главното и подавателното движение;

A_z - площ на напречното сечение, измерена в разглеждания момент от време в равнина, перпендикулярна на главното движение;

z_e - брой на едновременно участващите в работа режещи зъби.

При струговане $A = A_z = af$ ($\delta = 90^\circ$, $z = 1$), а при свредловане, зенкерване и райбероване $A = z_e af_z$ ($\delta = 90^\circ$, $z \geq 2$).

При работа с многозъб режещ инструмент общата площ на срязвания слой се определя като сума от площите на напречните сечения, срязвани от всички едновременно участващи в рязането режещи зъби в даден момент от време:

$$A = \sum_{i=1}^{z_e} A_{z_i} . \quad (1.16)$$

Изменението на общата площ на напречното сечение на срязвания слой от $A_{\min}$ до $A_{\max}$ се дължи на изменението на величините z_e , b и h в процеса на работа и се изразява с *коэффициента на неравномерност*:

$$\mu = \frac{A_{\max}}{A_m} , \quad (1.17)$$

където: A_m - средна площ на напречното сечение.

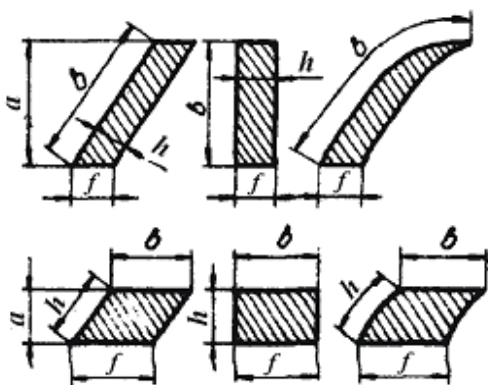
При фрезоване и протегляне коэффициентът на неравномерност $\mu > 1$. С подходящо изменение на конструктивните параметри на инструментите и на схемите на рязане може да се получи стойност на μ приблизително равна на единица.

Формата на напречното сечение на срязвания слой зависи от отношението на подаването f и дълбочината на рязане a (респективно на дебелината h и широчината b на срязвания слой), главния установъчен ъгъл κ_r и формата на главния режещ ръб (Фиг. 1.5).

При праволинеен режещ ръб, когато ъгълът κ_r има постоянна стойност, напречното сечение е *право* при $h < b$ ($f < a$), *равностранно* при $h = b$ ($f = a$)

или *широко* при $h > b$ ($f > a$). На тези съотношения съответства и *видът на стружката* – *права, равностранна или широка*. Когато $\kappa_r < 90^\circ$, формата на напречното сечение е успоредник, а при $\kappa_r = 90^\circ$ – правоъгълник. При тези условия, когато $f = a$, формата е съответно ромб или квадрат.

Формата на напречното сечение е сложна, когато режещият ръб е криволинеен или представлява комбинация от права линия и закръгление при върха с радиус $r_e \neq 0$ (Фиг. 1.4 и 1.5).



Фиг. 1.5. Форма и размери на напречното сечение на срязвания слой

При постоянна площ на напречното сечение на срязвания слой и изменение на отношенията a/f или b/h се променят съществено характеристиките на процеса на рязане. Например при $A = \text{const}$, с увеличаване на дълбочината на рязане за сметка на подаването се получава по-малко износване на инструмента, по-малки стойности на грапавостта на обработената повърхнина и на температура на рязане и по-големи сили и мощност на рязане.

С помощта на елементите на режима на рязане могат да се определят **интензивността на процеса на рязане, времето на рязане и отношението на елементите на срязвания слой.**

Интензивността на процеса на рязане W_c , mm^3/min , се определя от произведението на елементите на режима на рязане:

$$W_c = 10^3 V_c f a. \quad (1.18)$$

Времето на рязане t_c , min , за извършване на един ход на инструмента или обработвания детайл се определя чрез подавателната скорост V_f и дължината на преместването в направление на V_f :

- ✓ при въртливо главно движение на повърхнина с диаметър D , mm , и дължина L , mm :

$$t_c = 10^{-3} \frac{L_p}{V_f} = 10^{-3} \frac{\pi D L_p}{V_c f}; \quad (1.19)$$

- ✓ при праволинейно главно движение на повърхнина с дължина L , mm :

$$t_c = 10^{-3} \frac{L_p}{V_f} = 10^{-3} \frac{L_p}{f n}, \quad (1.20)$$

където: $L_p = L + L_1 + L_2$ – дължина на работния ход, mm ; L_1 и L_2 – разстояния, изминати за врязване и излизане на инструмента от обработвания детайл, mm .

Отношението на елементите на срязвания слой G се определя от отношението на дълбочината на рязане и подаването:

$$G = \frac{a}{f} = \frac{b}{h} \sin^2 \kappa_r. \quad (1.21)$$

1.2.3. Стружкообразуване и видове стружки

Процесът на рязане е сложен процес, съпроводен с редица физични, а често и с химични явления.

Превръщането на срязвания слой материал в стружка протича в три етапа:

- ✓ еластична деформация;
- ✓ пластична деформация;
- ✓ разрушаване по определени повърхнини и преди всичко по повърхнината на рязане.

При обработване на различни материали относителният дял на еластичната и пластичната деформация не е еднакъв. Обработваните материали, при които

преобладава еластичната деформация, се наричат **крехки**, а тези, при които преобладава пластичната деформация – **пластични**. Крехки материали са сив чугун, твърд бронз и др., а пластични – стомана, ковък чугун, цветни метали и техните сплави и др. Разделянето на материалите на крехки и пластични е условно, т.к. в зависимост от елементите на режима на рязане, съответно в зависимост от температурата и силите на рязане, един и същ материал може да премине от пластично в крехко състояние и обратно.

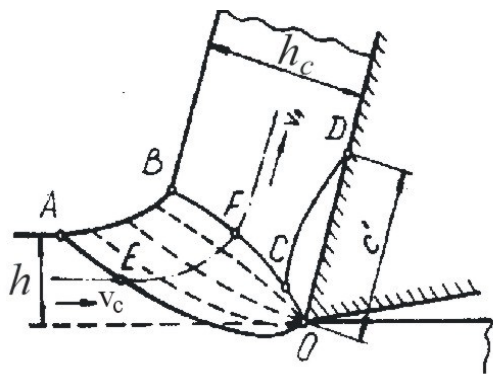
За да се отдели срязваният слой материал във вид на стружка, е необходимо в него да се създадат напрежения, които да го деформират последователно еластично, пластично и накрая да го разрушат. Тези напрежения се пораждат от действащите върху режещия клин сили на рязане.

Процесът на рязане протича и при интензивно триене между стружката и предната повърхнина на инструмента и между задните му повърхнини и обработвания детайл. *Механичната работа, която се изразходва за рязане, се състои от работа за еластично и пластично деформиране на обработвания материал, работа за преодоляване на силите на триене по предната и задните повърхнини на инструмента и от работа за образуване на нови повърхнини (диспергиране).* Тя се превръща почти изцяло в топлина, като само една незначителна част преминава в потенциална енергия за деформация на кристалната решетка, предизвикваща явлението наклеп.

1.2.3.1. Същност и особености на процеса на стружкообразуване

Процесът на стружкообразуване е сложен физико-механичен процес, който зависи от вида и свойствата на обработвания материал, геометричните елементи на инструмента и елементите на режима на рязане. От него зависят силите и мощността на рязане, топлинният режим и контактните натоварвания на работните повърхнини на инструментите, интензивността и характерът на износването им. В непосредствена връзка с процеса на стружкообразуване се намира и качеството на обработените повърхнини.

В процеса на рязане срязваният слой материал с дебелина h се превръща в стружка с дебелина h_c под действие на режещия клин на инструмента (Фиг. 1.6). Стружкообразуването протича в определена зона, разположена между недеформираната част на материала (наляво от линията OA) и образуваната стружка (надясно от линията OB), наречена **зона на стружкообразуване**. В нея са



Фиг. 1.6. Зони на първична и вторична деформация на срязвания слой

разположени повърхнини ($OA, \dots, OB$) с различна степен на деформация, по които действат максимални тангенциални напрежения и се извършва пластично изместване на деформирания слой.

Зона OAB се нарича **зона на първична деформация**. Широчината ѝ зависи от свойствата на обработвания материал, геометрията на режещия инструмент и елементите на режима на рязане. Тя е по-широка при малки предни

ъгли на инструмента и голямо подаване. С повишаване на скоростта на рязане зоната на първична деформация се стеснява, защото зърната на обработвания материал преминават през нея за по-кратко време и пластичната деформация не може да протече напълно. Едновременно с това тя се завърта в посоката на движение на часовниковите стрелки, при което дебелината на стружката намалява пропорционално на протичащата пластична деформация.

Вдясно от линията *ОВ* всички зърна на материала принадлежат към стружката, която контактува с предната повърхнина на инструмента на площадка с определена ширина *с*. Вследствие на силите на триене между стружката и предната повърхнина на инструмента контактните слоеве материал се задържат и се движат със скорост, по-малка от скоростта на движение на стружката V_1 . Поради това зърната на материала, намиращи се в близост до контактния слой, продължават да се деформират. Така възниква **зоната на вторична деформация** *ОСД*. Широчината ѝ c' е приблизително равна на половината от широчината *с* на контакт на стружката с предната повърхнина ($c' \approx 0,5c$), а дебелината ѝ е $\Delta \approx 0,1h_c$. При вторичната деформация срязваният слой се деформира неравномерно по дебелина - най-силно се деформира контактният слой, а най-слабо - горният слой на стружката.

Пластичната деформация при обработване на материалите чрез рязане се проявява външно в изменение на размерите на стружката (дължина l_c , дебелина h_c и ширина b_c) спрямо размерите на срязвания слой материал (дължина l , дебелина h и ширина b). Степента на изменение на тези размери се нарича **фактор на стружкообразуване** и се оценява с коефициентите:

$$K_l = \frac{l}{l_c}; \quad K_h = \frac{h_c}{h}; \quad K_b = \frac{b_c}{b}, \quad (1.22)$$

където: K_l , K_h , K_b - коефициенти на скъсяване, удебеляване и разширяване на стружката.

Тези коефициенти се явяват косвени показатели за интензивността и степента на пластичната деформация при рязане на материалите. Те показват колко пъти размерите на стружката са по-големи или по-малки от размерите на срязвания слой. Тъй като обемите на срязвания слой и на образуваната от него стружка са равни ($lhb = l_ch_cb_c$), за коефициента на скъсяване на стружката се получава:

$$K_l = K_h K_b. \quad (1.23)$$

Обикновено разширяването на стружката е малко (дори и при свободно рязане) и е от 5% до 15% от широчината на срязвания слой ($K_b = 1,05 \div 1,15$). Затова при грубо обработване K_b може да се пренебрегне. Приема се, че коефициентите на скъсяване и удебеляване на стружката са приблизително еднакви: $K_l \approx K_h = 1,2 \div 1,8$, като големината им зависи от вида на обработвания материал и условията на работа [6]. При чисто обработване, когато рязането се извършва с малки сечения на срязвания слой, коефициентът на разширяване на

стружката е голям - $K_b \geq 1,5$, напречното сечение на стружката е с триъгълна форма и не съответства на напречното сечение на срязвания слой [63]. В този случай отделно се определят коефициентите K_l , K_h и K_b .

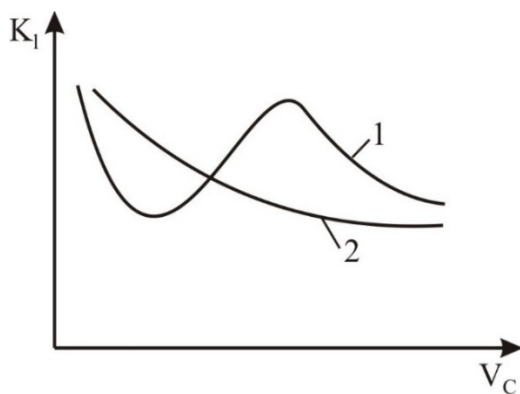
Обикновено стружката е по-къса от пътя, изминат от инструмента ($l_c < l$), но по-дебела и по-широка от срязвания слой материал ($h_c > h$ и $b_c > b$), т.е. коефициентът на скъсяване на стружката е по-голям от единица. Само при обработване на някои материали (например титанови сплави с висока якост), при образуване на елементна стружка, коефициентът на скъсяване на стружката е по-малък от единица ($K_l = 0,75 \div 0,9$) за сметка на получените празнини по свободната страна на стружката [63]. Това явление се нарича *отрицателно свиване*.

Факторът на стружкообразуване зависи от следните фактори: вид и физико-механични свойства на обработвания материал; вид на инструменталния материал; геометрични елементи на инструментите; елементи на режима на рязане и срязвания слой материал; прилагане на смазочно-охлаждаща течност (СОТ).

Влиянието на физико-механичните свойства е много силно, като *колкото обработваният материал е по-мек и с по-ниска якост, толкова коефициентът на скъсяване на стружката е с по-голяма стойност* (например при обработване на стомани $K_l = 2 \div 6$, а при обработване на чугуни $K_l = 1,5 \div 2,5$). Няма обаче еднозначни зависимости между K_l и параметрите, характеризиращи свойствата на обработвания материал. Факторът на стружкообразуване няма постоянна стойност за даден обработван материал, защото зависи от температурата в зоната на стружкообразуване, съответно от скоростта на рязане.

Инструменталните материали с повишена топлопроводимост и склонност към адхезия с обработвания материал имат по-голям фактор на стружкообразуване. При еднакви условия на рязане факторът на стружкообразуване нараства при следното подреждане на инструменталните материали: минералокерамика, твърдосплавни материали от група P , твърдосплавни материали от група K , бързорежеща стомана [6, 63].

Скоростта на рязане, подаването (дебелината на срязвания слой материал), геометричните елементи на инструментите, както и прилагането на СОТ влияят върху фактора на стружкообразуване дотолкова, доколкото причиняват повишаване на температурата, обуславяща големината на коефициента на триене. *Основният фактор, който се намира в пряка връзка и определя характера на изменение на фактора на стружкообразуване, е силата на триене по предната повърхнина на инструмента*. В най-общия случай може да се каже, че с увеличаване на подаването f (респективно на дебелината на срязвания слой материал h), на предния и на главния установъчен ъгъл, както и при прилагане на СОТ коефициентът на скъсяване на стружката намалява. Влиянието на дълбочината на рязане a (респективно на широчината на срязвания слой материал b) върху фактора на стружкообразуване е незначително.



Фиг. 1.7. Изменение на фактора на стружкообразуване в зависимост от скоростта на рязане при обработване на пластични (1) и крехки материали (2)

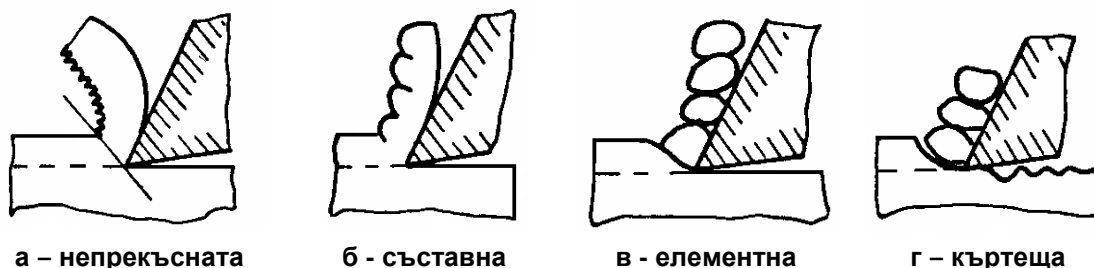
Характерът на изменение на фактора на стружкообразуване в зависимост от скоростта на рязане е различен при обработване на крехки и пластични материали (Фиг. 1.7). При обработване на пластични материали той се обяснява с изменението на размера на наслойката (силно деформиран слой материал във вид на клиновидно тяло по предната повърхнина на режещия клин, който е с $1,5 \div 2,5$ пъти по-голяма твърдост от тази на обработвания материал и с различен строеж и структура от тези на обработвания материал и стружката). Минимумът на графичната зависимост $K_l = \varphi(V_c)$ (крива 1, Фиг. 1.7) се

получава при скорости на рязане, при които наслойката е с максимална височина, а максимумът - при скорости на рязане, при които наслойката изчезва. При следващо увеличаване на скоростта намаляват коефициентът на триене и работата за пластична деформация, а като резултат и факторът на стружкообразуване. При обработване на крехки материали с увеличаване на скоростта на рязане коефициентът на скъсяване на стружката K_l монотонно намалява, тъй като наслойка не се образува (крива 2, Фиг. 1.7).

1.2.3.2. Видове стружки

В зависимост от условията на рязане се получават стружки с различен вид и строеж (Фиг. 1.8):

- **Непрекъснатата стружка** (Фиг. 1.8 а) - отделя се като непрекъснатата лента, която се завива на винтова или плоска спирала. Долната ѝ повърхнина е гладка, а горната - слабо назъбена или матова.
- **Съставна стружка** (Фиг. 1.8 б) – състои се от отделни, приблизително еднакви, силно деформирани елементи, здраво свързани помежду си. Долната повърхнина на стружката е гладка, а горната – силно назъбена или степенчатата.
- **Елементна стружка** (Фиг. 1.8 в) - състои се от отделни, приблизително еднакви елементи, слабо свързани или несвързани помежду си.
- **Къртеща стружка** (Фиг. 1.8 г) - представлява отделни несвързани помежду си елементи с различни форми и размери.



Фиг. 1.8. Видове стружки

Типът на стружката зависи от редица фактори: вид и физико-механични свойства на обработвания материал; преден ъгъл; дебелина на срязвания слой; скорост на рязане.

При обработване на пластични материали с увеличаване на твърдостта и якостта им непрекъснатата стружка преминава към съставна или елементна, а при обработване на крехки материали – от елементна към къртеща.

С увеличаване на предния ъгъл при обработване на пластични материали елементната стружка преминава в съставна, а след това в непрекъсната, а при рязане на крехки материали – от къртеща в елементна.

Увеличаването на подаването (респективно на дебелината на срязвания слой) при рязане на пластични материали предизвиква преминаване от течаща към съставна, а след това към елементна стружка. При рязане на крехки материали с увеличаване на подаването се преминава от елементна към къртеща стружка.

При рязане на пластични материали с високи скорости се получава непрекъсната стружка, а при по-малки скорости – съставна. Увеличаването на скоростта при рязане на крехки материали води до преминаване от къртеща към елементна стружка.

За използваните в машиностроителната практика режими на рязане и геометрия на режещите инструменти при обработване на пластични материали най-често се получават непрекъснати и по-рядко – съставни стружки, а при рязане на крехки материали – най-често елементни и по-рядко – къртещи стружки.

Представената класификация на стружките, предложена от И.А. Тиме през 1877 г., не е загубила своето значение, но подлежи на конкретизация. В Таблица 1.2 са показани типови форми на стружки в съответствие с ISO 3685:1993(E).

Стружките се подразделят на неблагоприятни и благоприятни, в т.ч. и задоволителни. Благоприятни са стружките с дължина $10\div 30\text{ mm}$ и спирална и винтова форма с диаметър $20\div 30\text{ mm}$. Стружките с по-големи или с по-малки дължини или с друга форма са неблагоприятни.

Образуването на стружки с неблагоприятна форма и с неудачни размери води до понижаване на производителността на металорежещите машини в резултат на допълнителни престои за отстраняване на заплетените стружки, влошаване на качеството на обработените повърхнини, намаляване на трайността на инструментите, повишаване на топлинните деформации на детайла и машината, възпрепятстване на автоматичната смяна на заготовките и инструментите, създаване на опасности за обслужващия персонал и др.

1.2.4. Сили, мощност и топлинни явления при рязане на материалите

1.2.4.1. Сили на рязане

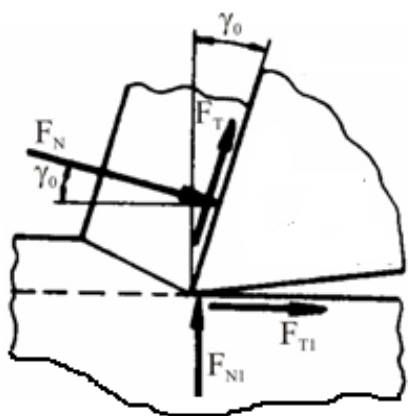
А. Сила на рязане - определение

За осъществяване на процеса рязане е необходимо прилагането на външна сила, която да създава в срязвания слой напрежения, превишаващи якостта на обработвания материал. Тя се нарича *сила на рязане* и е първопричина за стружкообразуването, както и важен фактор, ограничаващ интензивността и

производителността на процеса рязане. От нея зависят износването на режещия инструмент и точността на обработената повърхнина. С големината на силата на рязане се определят допустимият режим на рязане, моментът, работата и мощността на рязане, както и стабилността на технологичната система, изчисляват се якостно режещият инструмент, приспособленията и механизмите на металорежещата машина.

Таблица 1.2. Форми на стружката (ISO 3685:1993(E))

1. Лентови стружка	1.1. Дълга	1.2. Къса	1.3. Сплетена
			
2. Цилиндрични стружки	2.1. Дълга	2.2. Къса	2.3. Сплетена
			
3. Спирални стружки	3.1. Плоска	3.2. Конусна	
			
4. Цилиндрични винтови стружки	4.1. Дълга	4.2. Къса	4.3. Сплетена
			
5. Конусни винтови стружки	5.1. Дълга	5.2. Къса	5.3. Сплетена
			
6. Арковидни стружки	6.1. Съединена	6.2. Несъединена	
			
7. Елементни стружки			
8. Игловидни стружки			



Фиг. 1.9. Сили, действащи на режещия клин

Силата на рязане се разглежда като действие на режещата част на инструмента върху обработвания детайл и противодействие на детайла на инструмента. Двете сили са с равна големина, но с противоположни посоки.

В процеса на рязане срязваният слой материал, превръщайки се в стружка, създава нормална към предната повърхнина на инструмента сила F_N (Фиг. 1.9). При преместване на стружката по предната повърхнина възниква сила на триене $F_T = \mu F_N$. В резултат на еластичното възстановяване на обработената повърхнина и на повърхнината на рязане се създава нормална сила F_{N1} към задната повърхнина на инструмента, която поражда сила на триене $F_{T1} = \mu_1 F_{N1}$. Векторната сума на всички действащи върху режещия клин сили се нарича **сила на рязане**:

$$\vec{F} = \vec{F}_N + \vec{F}_T + \vec{F}_{N1} + \vec{F}_{T1}. \quad (1.24)$$

Силата на рязане е вектор в общо положение в пространството. Приложната ѝ точка съвпада с центъра на тежестта на стружката по предната повърхнина на режещия клин, като координатите ѝ се определят от подаването f , дълбочината на рязане a , главния κ_r и спомагателния κ'_r установъчен ъгъл.

В инженерната практика, където за различни пресмятания е необходимо да се знае точното направление на действащите сили, се използват компонентите на силата на рязане $\vec{F}$:

- ✓ F_c – главна сила, действаща в направление на главното движение;
- ✓ F_p – нормална сила, действаща в направление, нормално на обработената повърхнина, и насочена от обработвания детайл към инструмента;
- ✓ F_f – подавателна сила, действаща в направление на подавателното движение и противоположна на неговата посока.

Големината на резултантната сила на рязане се определя от равенството:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2}. \quad (1.25)$$

Силите на рязане F_c , F_p и F_f товарят металорежещата машина, инструмента и детайла. С тяхна помощ се пресмятат елементите на технологичната система машина-приспособление-инструмент-детайл (МПИД) и допустимите стойности на елементите на режима на рязане.

Б. Методи за определяне на силите на рязане

Големината на силите на рязане се определя чрез аналитично изчисляване, експериментално измерване и пресмятане със статистически модели.

Аналитичните методи са сложни и приблизителни, тъй като изискват

теоретично определяне на всички сили, действащи по предната и главната задна повърхнина на инструмента.

Експерименталното определяне на силите на рязане е непряко или пряко. Непрякото измерване изисква специална уредба (ватметър) за определяне на разхода на енергия, консумирана от електродвигателя на машината в процеса на рязане. Прякото измерване на силите на рязане се извършва с динамометри (силомери). Те се състоят от възприемаща част (устройство за възприемане и разлагане на силата на рязане $\vec{F}$ на нейните компоненти), преобразуваща част (преобразуватели за превръщане в удобна за измерване физична величина) и регистрираща част. Регистрирането на измерваната величина става с измервателен уред и записващо устройство. Според принципа на работа динамометрите са механични, хидравлични и електрически, а според броя на едновременно измерваните сили – еднокомпонентни и многокомпонентни. Най-често се използват електрически динамометри, които използват пиезоелектрически, съпротивителни (тензометрични), индуктивни и други преобразуватели.

Статистическите модели, които се използват за определяне на силите на рязане, са представени със зависимости (1.26) и (1.27) [6, 16, 20, 63]:

$$F_c = k_{c1.1} h^{1+y_{k_c}} b, \quad (1.26)$$

където: y_{k_c} - степенен показател с отрицателна стойност ($y_{k_c} = -0,1 \div -0,3$); $k_{c1.1}$ - нормирана относителна сила на рязане, която характеризира относителната сила на рязане при напречно сечение на срязване $A = 1 \text{ mm}^2$;

$$\begin{aligned} F_c &= C_{F_c} \cdot a^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \cdot V_c^{n_{F_c}} \cdot K_{F_c}, N; \\ F_p &= C_{F_p} \cdot a^{x_{F_p}} \cdot f^{y_{F_p}} \cdot V_c^{n_{F_p}} \cdot K_{F_p}, N; \\ F_f &= C_{F_f} \cdot a^{x_{F_f}} \cdot f^{y_{F_f}} \cdot V_c^{n_{F_f}} \cdot K_{F_f}, N, \end{aligned} \quad (1.27)$$

където: C_F - константа, отчитаща свойствата на обработвания и инструменталния материал; x_F , y_F , n_F - степенни показатели, отразяващи влиянието на дълбочината на рязане, подаването и скоростта на рязане; $x_F > y_F > n_F$ за всички процеси, при които се срязва права стружка ($a \geq 2f$); K_F - корекционен коефициент, отчитащ влиянието на фактори, които не са включени в зависимости (1.27) (например геометрични елементи на режещия инструмент, СОТ, износване на инструмента).

Стойностите на степенния показател y_{k_c} и на нормираната относителна сила на рязане $k_{c1.1}$ в зависимост (1.26) за различни процеси на механично обработване и различни обработвани материали се избират от справочници [6, 48]. Определената сила обаче е приблизителна. За получаване на по-голяма точност се използват корекционни коефициенти, отчитащи формата на срязвания слой, скоростта на рязане и предния ъгъл.

Стойностите на силовите константи, степенните показатели и корекционните коефициенти в емпиричните зависимости (1.27) за различни процеси на рязане се

определят експериментално или се вземат от справочници [48]. За някои процеси на рязане в емпиричните зависимости участват още величини, които съществено влияят на процеса: при свредловане – диаметърът на свредлото; при фрезоване – диаметърът на фрезата, широчината на фрезоване и броят на зъбите.

Когато в процеса на рязане участват едновременно няколко зъба, силите на рязане се определят чрез векторно сумиране на компонентите на силите, действащи на всеки зъб. При едновременна работа на няколко зъба се различават моментна, минимална и максимална стойност на силите, които определят неравномерността на процеса на рязане.

В. Фактори, влияещи върху силите на рязане

Силите на рязане F_c , F_p и F_f зависят от метода на обработване, вида и физико-механичните свойства на обработвания и инструменталния материал, елементите на режима на рязане, геометричните елементи и износването на режещия клин, СОТ и др.

✓ Влияние на вида и физико-механичните свойства на обработвания и инструменталния материал

При обработване на пластични материали силите на рязане са по-големи от тези при обработване на крехки материали. По-големи сили на рязане се получават и при обработване на склонни към механично уякчаване (наклеп) пластични материали. Разликата се дължи на разликата в количеството механична работа за деформация и триене, вложени при рязане.

С увеличаване на твърдостта на обработвания материал нарастват и силите на рязане, като най-силно е нарастването на нормалната сила F_p .

Интензивността на увеличаване на силите на рязане зависи от степента на нарастване на напрежението на срязване и на фактора на стружкообразуване.

Силите на рязане зависят и от структурата на обработвания материал. Колкото обработваният материал е по-дребнозърнест, толкова неговата твърдост и якост са по-големи, следователно и силите на рязане са по-големи. При обработване на материали с феритна структура се получават по-малки сили в сравнение с тези при обработване на материали с перлитна и аустенитна структура.

Инструменталният материал почти не оказва влияние върху силите на рязане, тъй като коефициентът на триене не се променя чувствително при неговото изменение.

✓ Влияние на елементите на режима на рязане

С увеличаване на дълбочината на рязане и на подаването силите на рязане нарастват, т.к. се увеличава площта на напречното сечение на срязвания слой материал. Дълбочината на рязане и подаването не оказват еднакво влияние върху силите на рязане. *При прави стружки силите на рязане нарастват по-силно с увеличаване на дълбочината на рязане, отколкото с увеличаване на подаването.* Дълбочината на рязане влияе върху главната сила F_c правопрпорционално. Силите F_p и F_f не зависят линейно от дълбочината на рязане. Подаването оказва по-малко влияние върху силите на рязане, т.к. с нарастване на f показателите на деформацията (фактор на стружкообразуване и

относителна пластична деформация) намаляват и увеличаването на силите изостава от нарастването на подаването.

Влиянието на скоростта на рязане върху силите на рязане е по-сложно и е свързано с изменението на пластичната деформация и триенето по контактните повърхнини. При струговане на труднообработваеми стомани и чугуни зависимостите $F_c = \varphi(V_c)$, $F_p = \varphi(V_c)$ и $F_f = \varphi(V_c)$ са монотонно намаляващи, а при струговане на стомани, склонни към образуване на наслойка, те са немонотонни: отначало с увеличаване на V_c силите намаляват, минават през минимум, след което нарастват до максимална стойност със следващо незначително намаляване.

✓ *Влияние на геометричните елементи на режещия инструмент*

С увеличаване на предния ъгъл γ_o силите на рязане намаляват непропорционално в резултат на намаляване на фактора на стружкообразуване и на работата за стружкообразуване.

Задният ъгъл α_o влияе само върху действащите сили по задната повърхнина на инструмента, а те оказват твърде малко влияние върху силите на рязане.

Главният установъчен ъгъл влияе върху силите на рязане чрез изменението на формата и размерите на напречното сечение на срязвания слой материал и чрез изменението на положението на главния режещ ръб относно посоката на подавателното движение. С увеличаване на κ_r нормалната сила F_p намалява, а подавателната сила F_f се увеличава. Характерът на изменение на главната сила на рязане F_c в зависимост от κ_r зависи от големината на радиуса при върха на инструмента. При обработване с инструменти с праволинеен режещ ръб ($r_\epsilon = 0 \text{ mm}$) с увеличаване на главния установъчен ъгъл κ_r , при постоянни стойности на подаването и на дълбочината на рязане (постоянна площ на напречното сечение на срязвания слой материал), се увеличава дебелината на срязвания слой материал и намалява непропорционално относителната сила на рязане. В резултат силата на рязане F_c намалява непропорционално. Когато режещият инструмент е с радиус при върха $r_\epsilon > 0 \text{ mm}$, с увеличаване на κ_r до 60° силата F_c намалява. При ъгли $\kappa_r > 60^\circ$ силата нараства, което се дължи на увеличения криволинеен участък, при който дебелината на срязвания слой материал е малка, относителната сила на рязане - голяма и следователно общата сила на рязане е по-голяма.

С увеличаване на радиуса при върха r_ϵ силите F_c и F_p нарастват, а силата F_f намалява. Най-силно е изменението на нормалната сила F_p , а най-слабо - на подавателната сила F_f . Този характер на изменение на силите е свързан с намаляването на средния установъчен ъгъл и влиянието му върху дебелината на срязвания слой и фактора на стружкообразуване.

Ъгълът на наклона на главния режещ ръб оказва различно влияние на силите на рязане – с увеличаване на λ_s главната F_c и подавателната F_f сила

нарастват, а нормалната сила F_p – намалява. Това е свързано с изменението на дължината на активния режещ ръб.

✓ *Влияние на износването на режещия инструмент*

Износването на инструмента променя значително големината и съотношението между силите на рязане. С увеличаване на износването по задната повърхнина на инструмента се увеличава контактът му с обработвания детайл. По дължината на контактната повърхнина задният ъгъл има нулева стойност, поради което нарастват силите на рязане. С увеличаване на износването най-много се увеличават нормалната F_p и подавателната F_f сила, които нарастват до стойността на главната сила на рязане F_c . При износване по предната повърхнина на режещия клин, в началната фаза на износването силите на рязане намаляват. Това е свързано с образуването на падинка по A_γ . Следващото увеличаване на износването води до нарастване на силите на рязане.

✓ *Влияние на COT*

Използването на COT води до намаляване на силите на рязане. Най-съществено е изменението на нормалната F_p и подавателната F_f сила, т.к. върху тези сили най-силно влияят силите на триене, които намаляват при използване на COT.

1.2.4.2. Мощност на рязане

Работната мощност при обработване на материалите чрез рязане се определя като сума от мощността P_c на главното и мощността P_f на подавателното движение:

$$P_e = P_c + P_f, kW. \quad (1.28)$$

Мощността на главното движение P_c се определя с главната сила на рязане F_c или с момента на рязане M_c :

$$P_c = F_c V_c 10^{-3} \cdot 60^{-1}, kW \text{ или } P_c = M_c \omega 10^{-3} \cdot 60^{-1}, kW, \quad (1.29)$$

където: $\omega = \pi / 30$ - ъглова скорост, s^{-1} .

Мощността на подавателното движение P_f се определя с подавателната сила F_f и подавателната скорост V_f по зависимостта:

$$P_f = F_f V_f 10^{-3} \cdot 60^{-1}, kW. \quad (1.30)$$

За някои процеси $F_f < F_c$ и $V_f \ll V_c$, поради което мощността на подавателното движение е много малка (P_f е от 1% до 5% от P_c) и може да се пренебрегне. Следователно работната мощност $P_e \approx (1,01 \div 1,05) P_c \approx P_c$.

Необходимото условие за осъществяване на процеса рязане е:

$$P_e \leq P_m \cdot \eta, \quad (1.31)$$

където: P_m - мощност на машината; η – к.п.д. на главния превод на машината.

1.2.4.3. Топлинни явления при рязане на материалите

Топлинните явления имат важна роля в процеса на рязане. Те определят температурата в зоната на рязане, която оказва пряко влияние на износването и трайността на режещите инструменти, характера на стружкообразуване, коефициента на триене, силите на рязане, грапавостта и точността на обработената повърхнина, микроструктурата на повърхностния слой и др. Температурата на рязане оказва влияние на процеса на рязане, т.к. променя свойствата на обработвания и инструменталния материал, както и условията на взаимодействие на инструмента и обработвания материал по контактните повърхнини.

А. Топлинен баланс и разпределение на температурата

В процеса на рязане почти цялата изразходвана механична работа E се превръща в топлина [63]:

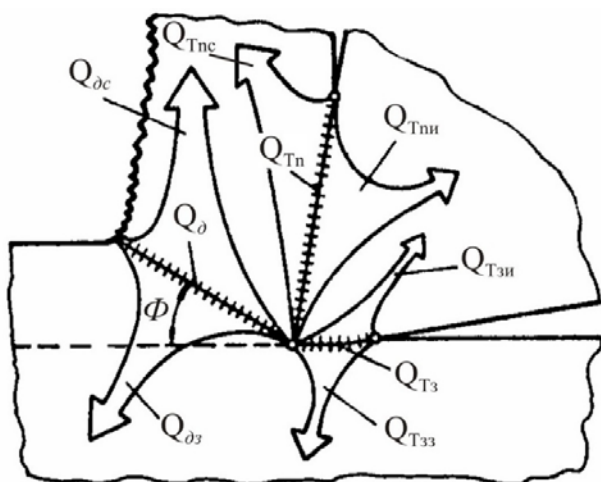
$$Q = \alpha \cdot E, J, \quad (1.32)$$

където: $E = E_{\delta} + E_{Tn} + E_{Tz} + E_{дисп}$; E_{δ} - работа за еластична и пластична деформация; E_{Tn} - работа за триене по предната повърхнина на режещия инструмент; E_{Tz} - работа за триене по задната повърхнина на инструмента; $E_{дисп}$ - работа за диспергиране (образуване) на нови повърхнини; големината на компонентите на механичната работа и съотношенията между тях зависят от вида и свойствата на обработвания материал, условията на работа и геометричните елементи на режещия инструмент;

$\alpha = 0,95 \div 0,99$ - коефициент, показващ каква част от механична работа E се превръща в топлина.

Следователно *топлина в зоната на рязане се образува* в резултат на:

- ✓ работата за еластична и пластична деформация на материала - Q_{δ} ;
- ✓ работата за триене по предната повърхнина на инструмента - Q_{Tn} ;
- ✓ работата за триене по задната повърхнина на инструмента - Q_{Tz} ;
- ✓ работата за образуване (диспергиране) на нови повърхнини - $Q_{дисп}$.



Фиг. 1.10. Източници на топлина и топлинни потоци в зоната на рязане

Полученото общо количество топлина се отвежда от стружката - Q_c , инструмента - Q_u , обработвания детайл - Q_z и се излъчва в околната среда - $Q_{изл}$. Получават се топлинни потоци (Фиг. 1.10). Една част от топлината Q_{δ} , образувана при деформация на материала в зоната на рязане, се отвежда от стружката ($Q_{\delta c}$), а друга част - от обработвания детайл ($Q_{\delta з}$). Топлината Q_{Tn} се отвежда от стружката (Q_{Tnc}) и от инструмента Q_{Tni} , а топлината Q_{Tz} - от

обработвания детайл (Q_{T33}) и инструмента (Q_{T3u}). Топлината от диспергиране е пренебрежимо малка спрямо общото количество топлина.

Връзката между образуваната и отведената при рязане топлина се изразява с уравнението на топлинния баланс:

$$Q = Q_o + Q_{Tn} + Q_{T3} + Q_{дисп} = Q_c + Q_u + Q_3 + Q_{изл}. \quad (1.33)$$

Съотношенията между компонентите на топлообразуването и топлоотвеждането зависят от механичните и толофизичните свойства на обработвания и инструменталния материал, скоростта на рязане и типа на стружката [6, 12, 16, 39, 63].

При обработване на пластични материали топлина се получава в резултат на работата за пластична деформация на материала и работата за триене по предната повърхнина на инструмента (например при обработване на стомана $Q_o = (45 \div 62\%)Q$, $Q_{Tn} = (33 \div 38\%)Q$ и $Q_{T3} = (5 \div 16\%)Q$), а при обработване на крехки материали – главно в резултат на работата за триене по задната повърхнина на режещия клин. При струговане на стомана по-голяма част от отделената в процеса на рязане топлина ($40 \div 80\%$) се отвежда от стружката, в обработвания детайл остават $(12 \div 50\%)Q$, а на инструмента се предават $(8 \div 10\%)Q$. При струговане на чугун компонентите на топлоотвеждането са $Q_c \approx 42\%Q$, $Q_3 \approx 50\%Q$, $Q_u \approx 2\%Q$, а при струговане на алуминий - $Q_c \approx 21\%Q$, $Q_3 \approx 73\%Q$, $Q_u \approx 2\%Q$.

Колкото е по-малка топлопроводимостта на обработвания материал, толкова по-голямо количество топлина постъпва в инструмента (например при обработване на алуминий $Q_u \approx 2,2\%Q$, а при обработване на титанови сплави - $Q_u \approx 9,8\%Q$).

При рязане с ниски скорости ($V_c = 30 \div 50 \text{ m/min}$) топлина се образува в резултат на работата за деформация на материала ($Q_o \approx 75\%Q$), а при високи скорости ($V_c = 200 \text{ m/min}$) – в резултат на работата за триене ($Q_{Tn} + Q_{T3} \approx 75\%Q$). При обработване с ниски скорости компонентите на топлоотвеждането са: $Q_c \approx (60 \div 70\%)Q$; $Q_3 \approx (30 \div 40\%)Q$; $Q_u \approx 3\%Q$; $Q_{изл} \approx (1 \div 2\%)Q$. С увеличаване на скоростта на рязане значително нараства топлината, отвеждана от стружката (например при скорости $V_c = 400 \div 500 \text{ m/min}$ $Q_c \approx (97 \div 98\%)Q$, а $Q_u \approx 3\%Q$).

Използването на СОТ позволява значително да се повиши $Q_{изл}$ в общия топлинен баланс, като в зависимост от условията на подвеждане на СОТ намаляват Q_c , Q_u и Q_3 .

Топлината, образувана в процеса на рязане, се разпространява от точки с по-висока температура към точки с по-ниска температура. В резултат режещият инструмент, стружката и обработвания детайл се нагряват неравномерно в различните сечения. Температурите по предната и задната повърхнина на инструмента и в зоната на рязане не са постоянни. *Разпределението на температурата в различните точки от инструмента, стружката и обработвания*

детайл за определен момент на работа и дадени работни условия се изобразява с т.н. температурно поле.

Температурата на стружката е най-висока в слоевете до предната повърхнина на инструмента, като с отдалечаване от нея температурата рязко намалява. Температурата на лежащия под повърхнината на рязане слой обработван материал е значително по-ниска от тази на стружката и рязко намалява в дълбочина.

Най-висока е температурата на режещия ръб и в центъра на налягането на стружката по предната повърхнина на инструмента. Макар че по-голяма част от топлината се отвежда от стружката, температурата на режещия инструмент в зоната на контакт със стружката е по-висока от температурата на стружката. Режещият инструмент поема част от топлината в стружката, породена от деформацията в зоната на рязане, към която се прибавя и топлината от триенето по предната повърхнина на режещия клин.

При обработване на пластични материали температурата на предната повърхнина на инструмента е по-висока от температурата на задната повърхнина, т.к. предната повърхнина се нагрива от работата за деформация и триене, а задната повърхнина само от работата за триене. При обработване на крехки материали температурата на задната повърхнина на инструмента е по-висока от температурата на предната повърхнина. Разпределението на температурата в направление, отдалечаващо се от режещия ръб, е неравномерно – най-висока температура се получава в средата на съответните контактни зони. Основната причина за неравномерното разпределение на температурата е неравномерното разпределение на напреженията и на триенето.

Когато не е необходимо да се изучават законите на разпределение на температурата в инструмента, стружката и обработвания детайл, се определя **температурата на рязане**. Това е средната температура, която се получава на контактните повърхнини на инструмента със стружката и повърхнината на рязане:

$$\theta = \frac{\theta_{\gamma m} c + \theta_{am} c_1}{c + c_1}, \quad (1.34)$$

където: $\theta_{\gamma m}$ и θ_{am} - средни температури на предната и задната повърхнина на режещия клин; c и c_1 - широчини на контакта по предната и задната повърхнина.

При обработване на пластични материали $\theta = \theta_{\gamma m}$, защото температурата θ_{am} е много ниска и $c_1 \ll c$. При обработване на крехки материали $\theta = \theta_{am}$, тъй като температурата $\theta_{\gamma m}$ е много ниска поради специфичния характер на процеса на стружкообразуване.

Б. Методи за изследване на температурата в зоната на рязане

Температурата в зоната на рязане се определя чрез:

- ✓ аналитични и числови методи (метод на източниците на топлина, метод на крайните разлики, метод на крайните елементи) – основават се на уравнението на топлинния баланс;

- ✓ експериментални методи - използват се за измерване на средната и локалната температура, за определяне на зоната на разпределение на температурата и за изобразяване на температурното поле.

Експерименталните методи са косвени (калориметричен метод, метод на микроструктурния анализ, оцветяване на стружката, термобои и електрическо моделиране) и преки (метод на термодвойките, фотоелектричен метод - оптичен, радиационен или метод на инфрачервената термометрия).

Един от най-широко използваните методи за определяне на температурата в зоната на рязане е *методът на термодвойките*. Той се прилага за измерване както на средната температура на контактните повърхнини на инструмента, така и на локалната температура в различни точки от тях. Използват се изкуствена, полуизкуствена, естествена и „бягаща” термодвойка.

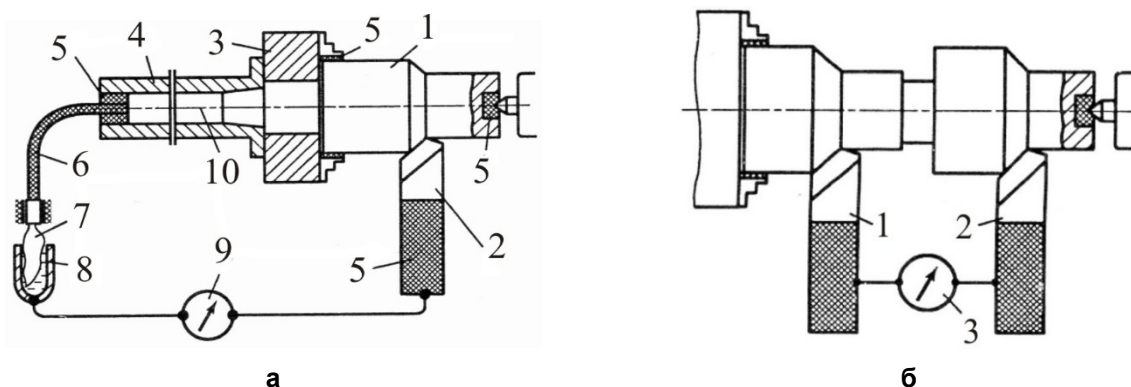
Изкуствената термодвойка се състои от два проводника от различни материали (мед – константан, желязо – константан, платина – иридий и др.), които се поставят в предварително пробит отвор, близо до предната повърхнина на инструмента. При загряване на спойката на термодвойката възниква термоелектродвижещо напрежение, което се измерва с милivolт-метър. Температурата в градуси се получава след тариране на термодвойката, т.е. след намиране на линейна зависимост между напрежението в mV и температурата в $^{\circ}C$. Предимство на метода е възможността за използване на стандартни термодвойки с известни термоелектрически характеристики, поради което не се нуждаят от тариране. Чрез разполагане на отворите в различни точки на предната и задната повърхнина може да се построи температурното поле на режещия клин на инструмента. Недостатъци на метода са: трудно прилагане при въртящи инструменти; по-ниски стойности на измерената температура от тези на температурата на контактните повърхнини на инструмента, като разликата зависи от разстоянието на спойката на термодвойката до съответната повърхнина.

Полуизкуствената термодвойка дава по-точни резултати от изкуствената. Единият ѝ елемент е инструментът, а другият – проводник от мед, константан или друг метал с голямо електрическо съпротивление, поставен в предварително пробит отвор и разплескан по предната или задната повърхнина.

Методът на естествената термодвойка е основан на използването на термодвойка, образувана от инструмент и детайл или от два инструмента от различни материали, в която при нагриване възниква термоелектродвижещо напрежение, което е функция на температурата (Фиг. 1.11). Методът се отличава с надеждност, т.к. с него се определя средната температура на рязане, която се стабилизира в течение на $2 \div 3$ s и не зависи от времето за работа. С естествена термодвойка не може да се получи температурно поле на режещ инструмент.

При естествената термодвойка с един нож (Фиг. 1.11 а) спойката е в мястото на контакт между повърхнините на ножа, стружката и обработвания детайл. Обработваният детайл 1 е изолиран от патронника 3 и центъра на задното седло с текстолитови подложки и втулка 5, а ножът 2 - от ножодържача с текстолитови подложки 5. За измерване на термоелектродвижещото

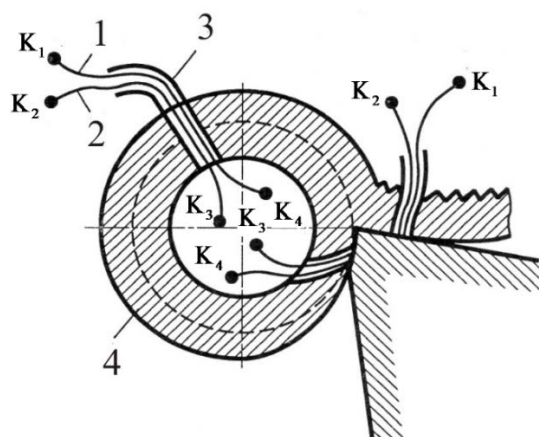
напрежение са включени милivolтметърът 9 и проводникът 10, преминаващ през отвора на вретеното 4 и свързващ обработвания детайл 1 с гъвкавия вал 6 с контактен накрайник 7, живачната вана 8 и токоснемащото устройство. За всяка двойка обработван – инструментален материал се извършва тариране на термодвойката, като се прилагат два метода – тариране в разтопен метал и контактен метод на тариране. Предимство на метода е, че той лесно се прилага както при струговане, така и при други методи за механично обработване.



Фиг. 1.11. Естествена термодвойка

а – с един нож; б - с два ножа;

При естествената термодвойка с два ножа (Фиг. 1.11 б) се изключва влиянието на вида на обработвания материал на тарировъчната графика термоелектродвижещо напрежение U, mV - температура $\theta, ^\circ C$. Тази термодвойка се образува от два стругарски ножа 1 и 2 от различни инструментални материали и с еднаква геометрия, работещи при едни и същи елементи на режима на рязане и свързани с милivolтметър 3. Използването ѝ се основава на предположението, че инструменталните материали не влияят на температурата в контактните повърхнини. По точност естествената термодвойка с два ножа отстъпва на тази с един нож, т.к. предполага еднакви температури на контактните повърхнини на двата ножа. Това практически е трудно осъществимо, т.к. коефициентът на триене в зоните на контакт на двата инструмента с обработвания материал е различен.



Фиг. 1.12. „Бягаша” термодвойка

1, 2 – проводници; 3 – защитна тръбичка;
4 – обработван детайл

„Бягашата” термодвойка (Фиг. 1.12) се прилага за изследване на разпределението на температурата на контактните повърхнини на инструмента. Тя се образува от два проводника, поставени в радиални отвори на обработвания детайл, който е с правоъгълна резба по периферията. Проводниците са поставени в защитна тръбичка от материала на детайла. Краищата K_1, K_2, K_3 и K_4 се свързват с осцилограф чрез проводниците и токоснемащото устройство. При завъртане на обработвания детайл, горещата

спойка на термодвойката се образува от срязването на проводниците. Термодвойката с краища K_1 и K_2 отчита температурата на контакта между стружката и ножа, а термодвойката с краища K_3 и K_4 - температурата на контакта между ножа и повърхнината на рязане. Първата термодвойка се движи със скоростта на стружката V_1 , а втората – със скоростта на рязане V_c .

Фотоелектричният метод е безконтактен метод за изследване на температурата на рязане и е основан на принципа на оценка на температурата по интензивността на инфрачервеното излъчване от изследваната точка. С него може да се получи температурното поле на предната или задната повърхнина на инструмента.

В. Фактори, влияещи на температурата на рязане

Температурата на рязане зависи основно от физико-механичните свойства на обработвания и инструменталния материал, елементите на режима на рязане и геометричните елементи на режещите инструменти. Тази зависимост се изразява със следния теоретико-експериментален модел [6]:

$$\theta = C_{\theta} a^{x_{\theta}} f^{y_{\theta}} V_c^{n_{\theta}} K_{\theta}, \text{ } ^{\circ}\text{C}, \quad (1.35)$$

където: C_{θ} - коефициент, който отчита свойствата на обработвания и инструменталния материал; K_{θ} - корекционен коефициент, отчитащ влиянието на фактори, невяключени в зависимост (1.35) (например геометрични елементи на режещия инструмент); x_{θ} , y_{θ} , n_{θ} - степенни показатели, отразяващи влиянието на дълбочината на рязане, подаването и скоростта на рязане ($x_{\theta} < y_{\theta} < n_{\theta}$).

При оценка на влиянието на различни фактори върху температурата на рязане се отчита изменението на условията на топлообразуване и топлоотвеждане при рязане.

✓ Влияние на физико-механичните свойства на обработвания материал

Температурата на рязане нараства с увеличаване на якостта, твърдостта и пластичността на обработвания материал. При обработване на крехки материали температурата е по-ниска от тази при обработване на пластични материали (например при обработване на стомана температурата на рязане е приблизително 1,5 пъти по-голяма от тази при обработване на чугун [6]). Тази разлика се дължи на нееднакия относителен дял на работата за деформация и триене.

Голямо влияние на температурата на рязане оказва топлопроводимостта на обработвания материал. *Колкото е по-голяма топлопроводимостта на обработвания материал, толкова е по-ниска температурата на рязане*, т.к. отвеждането на топлината в стружката и обработвания детайл е по-интензивно. Затова при обработване на цветни метали се получават ниски температури на рязане. При обработване на чугун температурата на рязане е висока поради малката топлопроводимост на обработвания материал и малката контактна площ, върху която действа топлинният източник. Високи температури на рязане се получават и при обработване на топлоустойчиви, неръждаващи и други труднообработваеми стомани с аустенитна структура, както и на титанови сплави поради лошата им топлопроводимост.

✓ *Влияние на физико-механичните свойства на инструменталния материал*

Температурата на рязане зависи от топлопроводимостта на инструменталния материал – колкото тя е по-голяма, толкова температурата на рязане е по-ниска при еднакви условия на работа. Например температурата на рязане при обработване с режещи инструменти от минералокерамични материали е по-висока от тази при обработване с инструменти от металокерамични твърди сплави. Тази разлика в температурата е свързана и с нееднаквото количество топлина, образувано в резултат на триене.

✓ *Влияние на елементите на режима на рязане*

С нарастване на стойностите на елементите на режима на рязане температурата на рязане расте по параболичен закон. Най-силно влияние оказва скоростта на рязане, следвана от подаването, а най-слабо е влиянието на дълбочината на рязане.

С увеличаване на скоростта на рязане интензивността на нарастване на температурата намалява. Това се обяснява с факта, че температурата на рязане нараства главно за сметка на увеличаване на количеството топлина, образувано в резултат на работата за деформация Q_d и триене по предната повърхнина на режещия клин Q_{Tn} , които при високи скорости нарастват с по-малка интензивност. Освен това с увеличаване на V_c се увеличава количеството топлина, което се отвежда от стружката.

С увеличаване на подаването и на дълбочината на рязане температурата на рязане нараства, т.к. се увеличават Q_d и Q_{Tn} . Нееднаквата интензивност на нарастване на температурата се дължи на подобреното топлоотвеждане при по-големите стойности на f и a . С увеличаване на дълбочината на рязане топлоотделянето се подобрява в по-голяма степен, отколкото с увеличаване на подаването. Затова подаването оказва по-голямо влияние на температурата на рязане.

✓ *Влияние на геометричните елементи на режещите инструменти*

С увеличаване на главния установъчен ъгъл κ_r температурата на рязане нараства непропорционално. Това се дължи на влошеното топлоотделяне поради намаляване на дължината на активния режещ ръб, на ъгъла при върха и на масата на режещия клин. С увеличаване на предния ъгъл γ_o намалява образуваното количество топлина от работата за деформация и триене, но намалява и топлоотделянето от режещия клин. С нарастване на задния ъгъл α_o намалява образуваното количество топлина от работата за триене по задната повърхнина на режещия клин, но намалява и топлоотделянето от инструмента поради по-малката му маса. Следователно съществуват стойности на предния и на задния ъгъл, при които температурата на рязане е минимална.

С увеличаване на радиуса при върха r_ε намалява температурата на рязане. Това е свързано с подобреното топлоотделяне поради увеличаване на дължината на активния режещ ръб и масата при върха на режещия клин. Едновременно с това нарастването на топлообразуването в резултат на увеличаване на работата за деформация и триене е незначително.

1.3. РЕЖЕЩИ ИНСТРУМЕНТИ С ДЕФИНИРАНА РЕЖЕЩА ЧАСТ

1.3.1. Видове режещи инструменти и изисквания към тях

Режещите инструменти се различават по кинематиката на работните движения, вида на оборудването, за което са предназначени, начина на изработване, материала на режещата част, конструктивното изпълнение, геометрията на режещата част и др. Формата и конструкцията на режещите инструменти зависят от вида на главното движение на рязане и от това кой извършва това движение – инструментът или обработваният детайл. Когато главното движение на рязане е въртливо и се извършва от инструмента, инструментите имат ротационна форма (например свредла, зенкери, райбери, фрези, метчици, шлифовъчни дискове). В останалите случаи формата на инструментите е произволна, обикновено призматична. Такава е формата на инструментите за струговане, стъргане, дълбане и протегляне.

По конструкция режещите инструменти се подразделят на монолитни (цели), съставни и сглобяеми.

Целите инструменти са изработени от един инструментален материал. В сравнение с останалите видове инструменти те се характеризират с най-голяма стабилност, отсъствие на вътрешни напрежения и най-голям разход на инструментален материал, отпаднал при обработване на отвори, зъби и др. или бракуван след презаточване на режещата част. Заготовките за изработването им се получават чрез валцоване, леене или по методите на праховата металургия.

Съставните инструменти се изработват от различни материали (режещата част – от инструментален материал, тялото – от конструкционна стомана). Характеризират се с много по-рационално използване на инструменталния материал в сравнение с монолитните инструменти и с по-голяма стабилност от сглобяемите инструменти. Техни недостатъци се явяват вътрешните напрежения, получени при съединяване на материалите, чиито стойности са свързани с технологията на съединяване (заваряване или запояване). Също така, в сравнение с монолитните инструменти, те са с по-малка якост и надеждност.

Сглобяемите инструменти се състоят от отделни механично закрепени елементи и подлежат на многократно разглобяване и сглобяване. Биват с презаточващи се и с непрезаточващи се части. Делът им в общото количество произвеждани режещи инструменти от всякакъв вид непрекъснато нараства. Основните им предимства са: възможност за единична смяна на счупени зъби; възможност за регулиране на размерите; многократно използване на тялото и на други части; облекчена термообработка; максимална производителност и надеждност поради липса на вътрешни напрежения и осигуряване на еднаквост във всички геометрични елементи на режещата част. Като техни недостатъци могат да се посочват сложната конструкция, високата себестойност и по-малката стабилност.

В съвременното машиностроене се използват голям брой разнообразни по конструкция и предназначение режещи инструменти, с които се предават необходимата форма и размери на обработваните детайли. От режещия инструмент пряко зависят качеството на обработената повърхнина и произво-

дителността на обработването. Работоспособността на режещия инструмент оказва съществено влияние на икономическата ефективност на производствения процес. В тази връзка режещите инструменти трябва да отговарят на редица изисквания, които включват: осигуряване на предписаното качество на обработената повърхнина (точност на формата и размерите, грапавост, структура и твърдост); осигуряване на висока производителност при оптимална трайност; надеждност (обуславя се от безотказността, дълготрайността и ремонтпригодността на инструмента) при експлоатация; универсалност по отношение на машини и операции при обработване на типови повърхнини от различни детайли; възможност за максимално използване на машината по мощност; многократно използване на режещата част, тялото и други елементи на конструкцията; гарантиране на добро стружкообразуване и стружкоотвеждане; възможност за осигуряване на оптимални геометрични елементи на режещата част; възможност за регулиране на размерите на работната част; технологичност на конструкцията; бързосменност при пренастройване за друг обработван детайл или след износване; осигуряване на възможност за предварително настройване на размер извън машината (съвместно с използвания комплект спомагателни инструменти) и др. [24, 57]

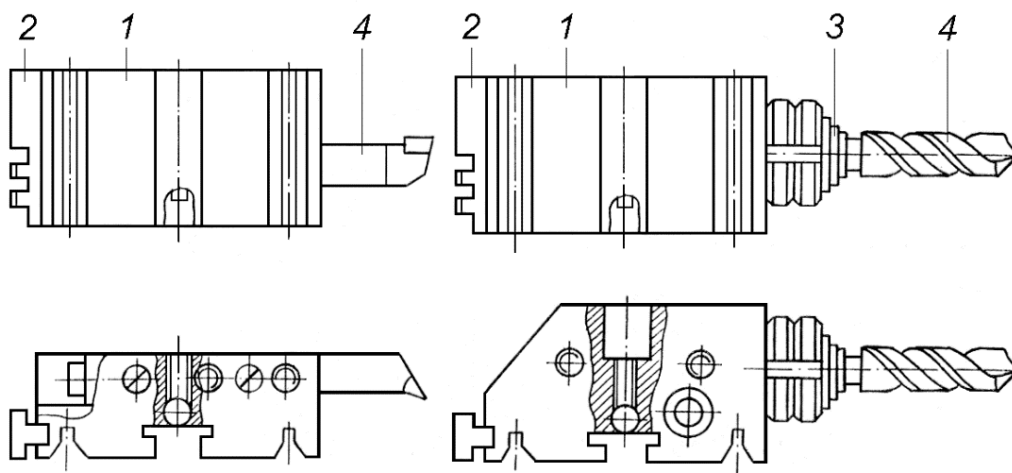
Режещите инструменти се явяват съставна част от комплексната автоматизирана система на машините с цифрово програмно управление, осигуряваща ефективната им експлоатация. За осигуряване на автоматичния цикъл на обработване се изисква висока надеждност на работа на инструментите.

Режещите инструменти, които се използват при работа на CNC машини, са стандартизирани (унифицирани) и със специална конструкция. Всички или част от тях най-често са обединени в инструментални комплекти или системи, съвместно със спомагателните инструменти.

Стандартизираните инструменти са предназначени за изпълнение на разнообразни операции върху различни CNC машини. Те са разработени като типови конструкции (ножове, фрези, свредла и др.). В повечето случаи са съставни или сглобяеми, снабдени с многоръбови пластини от металокерамика, минералокерамика или свръхтвърди материали. Частта на използваните монолитни твърдосплавни инструменти е малка.

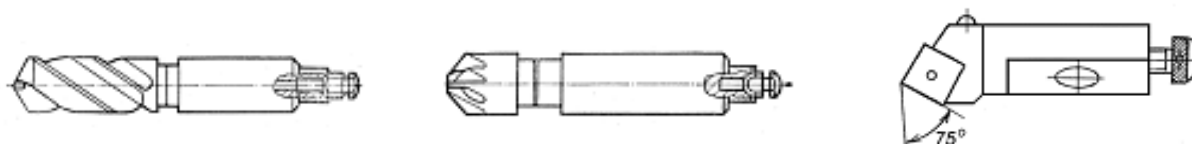
Стандартизираните инструменти с общо предназначение са с нормално, специално (най-често скъсено) и вложково изпълнение. Инструментите с нормално изпълнение, заедно със спомагателните инструменти, образуват инструментален блок и се настройват на размер извън машината (Фиг. 1.13) [35, 55]. Инструментите със скъсено и вложково изпълнение се настройват на размер с установъчни винтове (Фиг. 1.14) извън машината (в специални приспособления) и след настройването се установяват в гнездата на инструменталните глави или в инструментодържачи.

Инструментите със специална конструкция (комбинирани, профилни) са предназначени само за обработване на отделни детайли и се изработват на базата на използването на елементи от унифицирани конструкции.



Фиг. 1.13. Инструментални блокове [35]

1 – тяло на блока, 2 – гребен, 3 – преходна затегателна втулка, 4 – режещ инструмент



Фиг. 1.14. Инструменти със скъсено изпълнение, снабдени с настроечни винтове [35]

Изискванията, на които трябва да отговарят режещите инструментите за CNC машини, са свързани с [35, 55]:

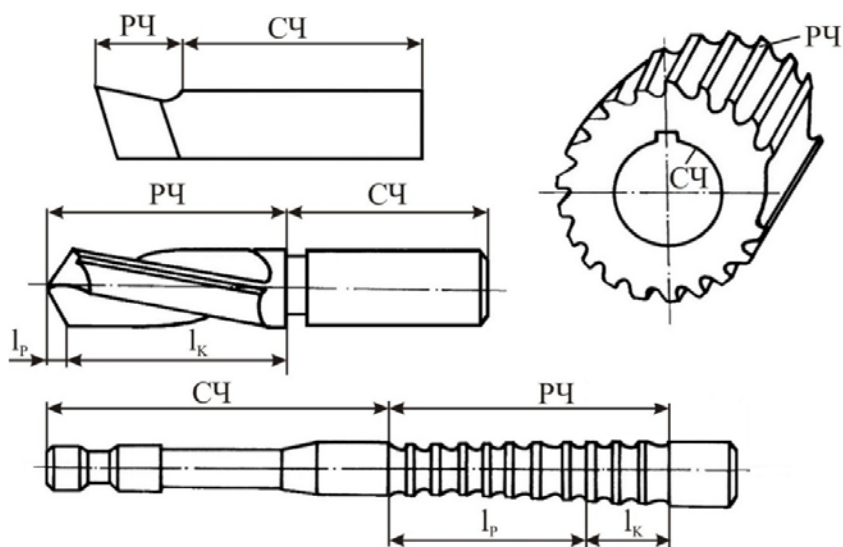
- ✓ максимално използване на непрезаточващи се пластини, механично закрепени в тялото на инструмента така, че да осигуряват постоянни конструктивни и геометрични елементи в процеса на експлоатация;
- ✓ използване на най-рационални по форма пластини, осигуряващи възможност за обработване с един инструмент на максимален брой повърхнини;
- ✓ систематизиране на основните и присъединителните размери на инструментите с цел създаване на удобство за програмиране на технологичните операции;
- ✓ осигуряване на възможности за работа в право и обърнато положение (ляво и дясно изпълнение);
- ✓ повишена точност, осигуряваща възможност за точно предварително настройване на инструмента на размер при неговото установяване в машината или инструменталния блок;
- ✓ форма на предната повърхнина, гарантираща добро стружкообразуване и стружкочупене.

1.3.2. Основни конструктивни елементи на режещите инструменти

Режещите инструменти, независимо от конструкцията си, се състоят от **работна (РЧ)** и **съединителна част (СЧ)**, които се изработват или закрепват върху тялото на инструмента (Фиг. 1.15).

А. Работна част

Работната част на инструмента извършва непосредственото обработване на детайла. Тя е подложена на значителни силови и топлинни



Фиг. 1.15. Конструктивни елементи на режещите инструменти

натоварвания и интензивно износване, поради което се изработва от висококачествени инструментални материали. *Работната част на повечето инструменти е изградена от две части – режеща (l_p) и калибровача (l_k)* (Фиг. 1.15).

Режещата част сменя прибавката от обработвания детайл, а калибровачата осигурява необходимото качество на обработените повърхнини на детайла и служи като резерв за презаточване и формиране на нова режеща част.

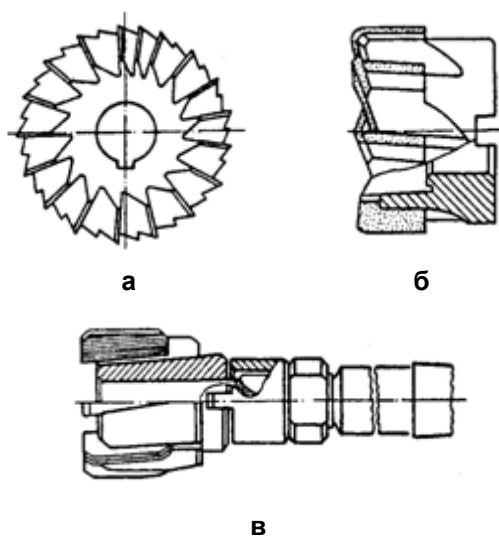
При инструментите с дефинирана режеща част режещият ръб е непрекъсната линия с известна форма и размери. Режещият инструмент може да има един или няколко дефинирани режещи ръба, подходящо свързани помежду си, и те могат да бъдат разположени на една или няколко режещи части (зъби). Инструментите с дефинирана режеща част се класифицират на стругарски инструменти, въртящи се инструменти и специални инструменти. Стругарските инструменти имат една режеща част, а въртящите се инструменти (свредла, фрези, метчици, райбери и др.) – две и повече режещи части. Специални инструменти са например протяжките.

Работните зъби са три вида:

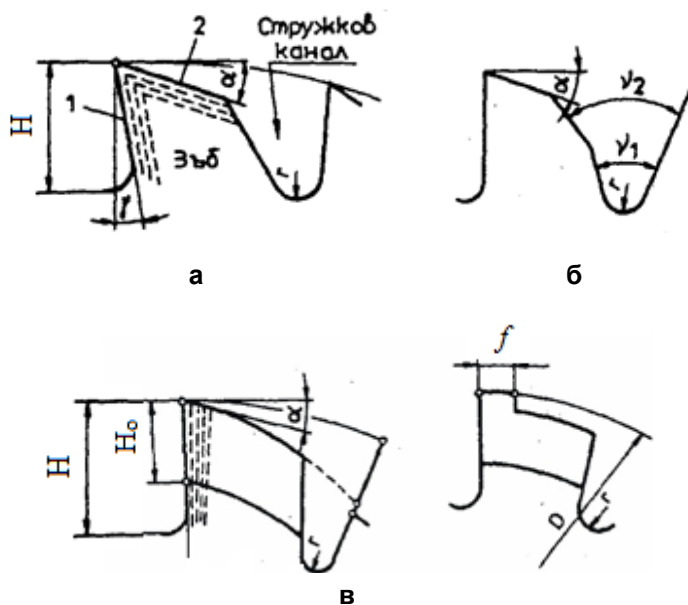
- изработени върху тялото (в този случай цялото тяло е изработено от инструментален материал) (Фиг. 1.16 а);
- споени или заварени пластини от инструментален материал (Фиг. 1.16 б);
- механично закрепени пластини от инструментален материал (Фиг. 1.16 в).

В последните два случая тялото се изработва от конструкционна стомана.

Зъбите на режещите инструменти са разположени по челото или периферията им. Между два съседни зъба се оформя вдлъбнатина, която се нарича *стружков*



Фиг. 1.16. Зъби на режещ инструмент



Фиг. 1.17. Форми на зъби
а, б – острозаточени; в - затиловани

канал. Инструментът се характеризира с броя на зъбите z и с тяхното разположение, а самите зъби – с формата си в напречно и надлъжно сечение и с размерите си. Стружковите канали също се характеризират с формата и размерите си.

По предназначение зъбите се подразделят на *режещи* и *калибровачни*. Режещите зъби свалят основната част от прибавката за обработване, а калибровачните – прибавката за чисто обработване.

Зъбите на инструментите в напречно сечение са оформени

от две повърхнини – предна 1 и задна 2 (Фиг. 1.17 а). Тези повърхнини оформят и напречното сечение на стружковите канали. Предната повърхнина на зъбите за повечето инструменти от технологични съображения е равнина или дъга от окръжност. Задната повърхнина на зъбите в зависимост от условията на работа на инструмента има различна форма (Фиг. 1.17 а, б, в).

Острозаточените (островърхните) зъби (Фиг. 1.17 а, б) се характеризират с това, че заточването им се извършва по задната и по предната повърхнина. Възможността за презаточване по задната повърхнина осигурява необходимите задни ъгли и съответно по-голяма трайност на инструментите. Освен това обработените повърхнини се получават по-гладки.

При презаточване по задната повърхнина се намалява височината на зъба, следователно и диаметърът на инструмента. При профилните инструменти заточването по задната повърхнина е сложно, а понякога и невъзможно. Затова при тези инструменти обикновено се използват *затиловани зъби* (Фиг. 1.17 в). Тези зъби се презаточват само по предната повърхнина, като профилът на зъба и височината му H_0 се запазват. Затилованите зъби имат по-ниска трайност и дават по-лошо качество на обработените повърхнини. Това е свързано с факта, че в много случаи задната повърхнина на зъбите не се шлифова, в резултат на което не се отстранява дефектният повърхностен слой на зъба, получен при неговото механично и термично обработване. Затруднява се презаточването – износването е главно по задната повърхнина, а презаточването е по предната повърхнина. Това налага да се сменя голямо количество материал и се намалява броят на презаточванията.

Инструментите за обработване на отвори (свредла, зенкери) се затиловат по задната повърхнина, като се оставя малка калибровачна ивица (фаска) с широчина f (Фиг. 1.17 в). По този начин формата на зъбите и диаметърът на инструмента остават постоянни при презаточване по задната повърхнина.

Задната повърхнина на калибровачните зъби се оформя като дъга от

окръжност. При заточване по предната повърхнина формата на зъба и диаметърът на инструмента се запазват, но триенето по задната повърхнина при рязане е голямо поради нулевия заден ъгъл. За да се намали триенето, задната повърхнина на калибровашите зъби се скосява, като се оставя само малка калиброваша лентичка. След няколко презаточвания по предната повърхнина лентичката изчезва и зъбът се превръща в режещ острозаточен.

Стружковите канали се оформят от предната повърхнина и гърба на два съседни зъба. Основата на стружковите канали обикновено се прави по дъга от окръжност с радиус r . Може да е и стъпаловидна с малък радиус пред предната повърхнина и остър връх на стъпалото, като тази форма осигурява допълнително деформиране и начупване на стружката.

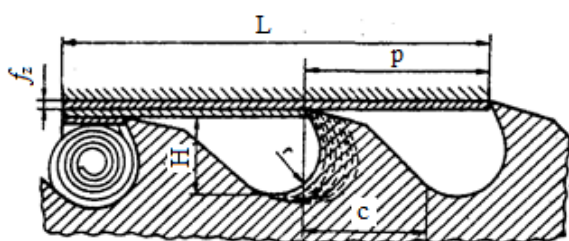
Зъбите и стружковите канали на инструментите в надлъжно сечение са *праволинейни, наклонени и винтови*.

Праволинейните зъби са най-технологични, тъй като лесно се изработват и презаточват. Те обаче имат редица експлоатационни недостатъци. При много инструменти (например фрези) се получават ударни натоварвания, тъй като зъбите „влизат“ и „излизат“ от работа едновременно по цялата си дължина. Това натоварва неблагоприятно зъбите и създава условия за възникване на трептения. При рязане с прави зъби в затворено или полузатворено пространство стружката не се отвежда от режещата част, а се натрупва или завива в плоска спирала пред зъба в канала. Това налага стружковите канали да са с по-големи размери, което при размерните инструменти (свредла, зенкери и др.) води до намаляване на якостта на зъбите и на тялото.

Наклонените зъби позволяват плавно увеличаване или намаляване на силите както при връзването и излизането от работа на зъбите на инструмента, тъй като и по време на работа с пълна дълбочина на рязане. Стружките се отвеждат в желаната посока в зависимост от посоката на наклона на зъбите. Недостатък на тези зъби е, че различните точки от режещия ръб в много случаи имат различни геометрични елементи и се получават осови сили на рязане.

Винтовите зъби имат най-големи експлоатационни предимства. Зъбите се връзват и излизат от работа плавно, като колебанието на силата на рязане може напълно да се избегне при определени размери на обработваната повърхнина и на зъбите. Винтовите стружкови канали лесно и безпрепятствено отвеждат стружките от зоната на рязане. Те обаче са най-сложни за изработване, особено при използване на твърдосплавни инструментални материали.

Основните размери на зъбите и на стружковите канали са (Фиг. 1.18):



Фиг. 1.18. Размери на зъбите и на стружковите канали

- височина на зъба/дълбочина на стружковия канал - H ;

- дебелина на основата на зъба - c ;

- радиус на основата на канала - r ;

- стъпка на зъбите - p .

Дълбочината H , стъпката p и дебелината c определят площта на напречното сечение, а следователно и обема на стружковия канал. Те трябва да

се избират така, че стружката да може свободно да се образува и помества в канала. При това трябва да се има предвид, че обемът на стружката е много по-голям от обема на срязвания слой материал.

Броят на зъбите z на инструмента се определя от стъпката p и размерите на инструмента по следните зависимости:

- за инструменти с ротационно главно движение:

$$z = \pi D / p, \quad (1.36)$$

където D е външният диаметър на инструмента;

- за инструменти с праволинейно главно движение:

$$z = l_p / p, \quad (1.37)$$

където l_p е дължина на режещата част.

Б. Съединителна част

Съединителната част е предназначена за ориентиране и закрепване на режещите инструменти към изпълнителните органи на машината. Тя трябва да осигурява точно базиране и стабилно закрепване, да позволява бързо установяване, да е с висока якост и устойчивост срещу вибрации, да има технологична конструкция и висок ресурс на работа. Съединителните части на инструментите не са подложени на топлинно натоварване и на интензивно износване, поради което е целесъобразно да се изработват от по-евтини конструкционни материали.

Инструментите с призматична форма (ножове с общо предназначение, профилни ножове, плоски протяжки и др.) се ориентират и закрепват по равнинни повърхнини. Съединителната част в този случай е призматична с напречно сечение с форма на правоъгълник, квадрат, клин или лястовича опашка. Закрепването се извършва с винтове или клинове. Силите на затягане трябва да са насочени към базиращите повърхнини, а големината им да е така подбрана, че силите на рязане да не могат да изместят инструмента.

Инструментите с ротационна форма се ориентират и закрепват по ротационни повърхнини - цилиндрични или конусни, външни или вътрешни.

Цилиндричната съединителна част осигурява съвпадане на геометричните оси на работната част на инструмента и базовите повърхнини на машината. По външна цилиндрична повърхнина (опашка) се ориентират и закрепват свредла, зенкери, райбери, метчици, фрези с малки размери, като за целта се използват патронници и цанги. Предаването на въртящия момент от вретеното на машината към инструмента се извършва за сметка на силите на триене. По вътрешна цилиндрична повърхнина обикновено се ориентират някои видове фрези, като за установяването им се използват специални приспособления - дорници. Инструментът се ориентира и закрепва спрямо дорника по двете си чела с помощта на втулки и гайки. Когато въртящите моменти са малки, те се предават чрез силите на триене между челата на инструмента и втулките. Големи въртящи моменти се предават с помощта на шпонки – надлъжни, ако дорникът с инструмента е закрепен на две опори, и челни – при конзолно закрепване.

Конусните базови повърхнини осигуряват по-добро базиране, т.е. съвпадане

на геометричните оси на инструмента и машината. Те са стандартизирани, като най-използваните конусни базови повърхнини са т.н. *морзови* и *метрични конуси*. Морзовите конуси обхващат седем номера и се означават с числата от 0 до 6. С нарастване на номера на конуса се увеличават и неговите размери. Метричните конуси се изпълняват в пет типоразмера с номера 80, 100, 120, 160, 200, съответстващи на номиналния им диаметър. И двата вида се изпълняват с нормална и скъсена дължина на инструмента. Метричните конуси са с по-големи размери от морзовите и се използват за инструменти с по-големи размери, работещи съответно при по-големи натоварвания.

При конусни базови повърхнини предаването на въртящите моменти се извършва в резултат на триенето на базовите повърхнини. За инструменти, които в процеса на рязане са натоварени с големи въртящи моменти и относително малки осови сили, се използват конусни опашки с вътрешна резба. Чрез винт, преминаващ надлъжно през отвора на вретеното, се увеличава осовата сила на закрепване и инструментът се закрепва към гнездото. Когато тези базови повърхнини трябва да предават още по-големи въртящи моменти, се предвиждат два радиални канала за челни шпонки или конусната част се скосява. В тези случаи конусността на базовата повърхнина се приема по-голяма (най-често 7:24), тъй като не е нужно да се създават големи сили на триене за предаване на въртящия момент. Такива присъединителни елементи се прилагат за челни и палцови фрези.

Вътрешните конусни повърхнини имат предимствата на външните конусни повърхнини, но се изработват по-трудно. Използват се в случаите, когато ориентирането на инструмента трябва да се извърши по вътрешна повърхнина с голяма точност, например при зенкери и райбери с големи размери. Най-често вътрешните базови повърхнини са с конусност 1:5, 1:7, 1:10, 1:30 или 1:50.

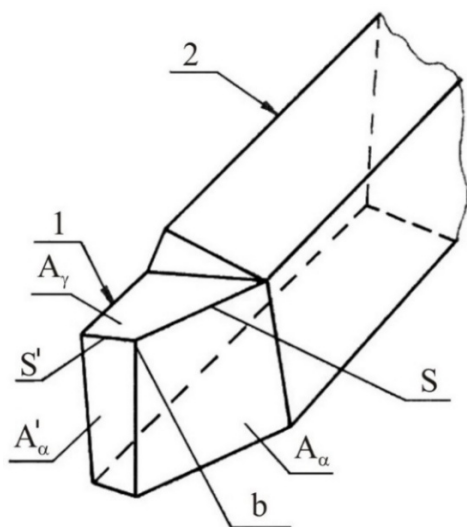
1.3.3. Геометрия на инструменти с дефинирана режеща част

Съвкупността от геометричните и конструктивните елементи на режещата част се нарича геометрия на инструмента. Тя включва повърхнините, ръбовете, ъглите, големината и направлението на режещия клин и др. Основните термини, определения и означения са регламентирани от стандарт ISO 3002/1-1982(E).

Геометрията на режещата част на стругарския нож се приема за базова при дефиниране на геометрията на инструменти с дефинирана режеща част. Стругарският нож е най-простият като конструкция режещ инструмент, затова той се използва за изясняване на геометрията и на другите инструменти. Това се постига чрез съпоставяне и установяване на сходството или различието между геометрията на въртящите инструменти (свредла, зенкери, райбери, фрези, метчици и др.) и на специалните инструменти (протяжки и др.) с тази на стругарските ножове.

А. Елементи на режещата част

Режещата част на стругарския нож се състои от следните елементи, които осъществяват процеса на рязане (Фиг. 1.19):



Фиг. 1.19. Конструктивни елементи на стругарски нож
1 - режеща част; 2- тяло

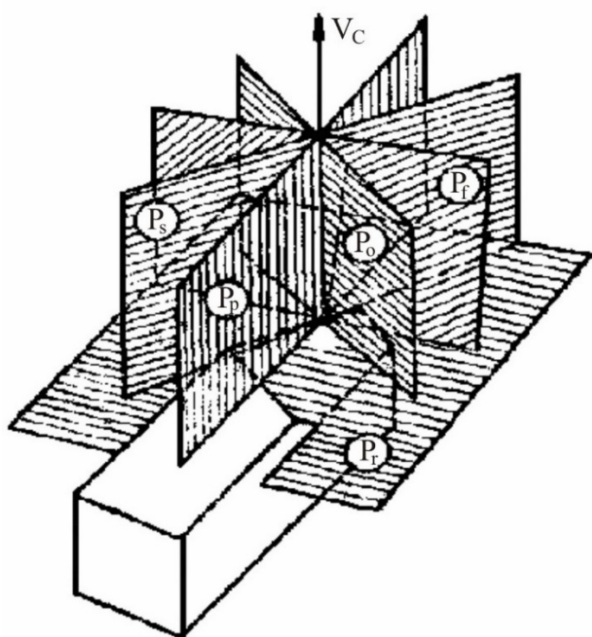
- *предна повърхнина (A_γ)* – повърхнината, по която се отвеждат стружките;
- *главна задна повърхнина (A_α)* – повърхнината, обърната към повърхнината на рязане;
- *спомагателна задна повърхнина (A'_α)* – повърхнината, обърната към обработената повърхнина;
- *главен режещ ръб (S)*, получен от пресичането на A_γ и A_α и обърнат в предпологаемата посока на подавателното движение;
- *спомагателен режещ ръб (S')*, получен от пресичането на A_γ и A'_α и обърнат в противоположната посока на подавателното движение;

- *връх (b)*, получен от пресичането на главния и спомагателния режещ ръб; може да бъде остър, закръглен с радиус r_ϵ или скосен под ъгъл с отсечка b_γ .

Б. Координатни системи и координатни равнини

Положението на повърхнините A_γ , A_α , A'_α и на режещите ръбове S и S' се определя в или чрез координатни равнини, които се разглеждат в различни координатни системи – инструментална (статична) и работна.

Инструменталната координатна система се използва за определяне на геометрията на инструмента при неговото проектиране, изработване, презаточване и контролиране. В тази координатна система инструментът се разглежда като геометрично тяло, намиращо се в покой и извън взаимното му положение с обработвания детайл. Геометрията на инструмента в процеса на рязане се дефинира в *работната координатна система*, т.е. когато се извършват едновременно главното движение със скорост $\vec{V}_c$ и подавателното движение със скорост $\vec{V}_f$. Работната координатна система е завъртяна спрямо инструменталната на ъгъла на отклонение η на работната (резултантната) скорост на рязане.



Фиг. 1.20. Координатни равнини в инструменталната координатна система

Координатните равнини в инструменталната координатна система (Фиг. 1.20) минават през избрана точка M от главния режещ ръб и са ориентирани относно векторите на

скоростите на главното ($\vec{V}_c$) и подавателното ($\vec{V}_f$) движение. Тези равнини се означават с P и съответен индекс за идентификация.

Координатните равнини са:

- основна равнина P_r - равнината, успоредна на основата на стругарския нож и перпендикулярна на вектора на скоростта на рязане $\vec{V}_c$;

- равнина на рязане P_s - равнината, която е допирателна към главния режещ ръб в точка M или го съдържа и е перпендикулярна на основната равнина P_r ;

- равнина на главното сечение P_o - равнината, която е едновременно перпендикулярна на равнината на рязане P_s и на основната равнина P_r ;

- установъчна равнина P_f - равнината, която е перпендикулярна на основната равнина P_r и съдържа векторите на скоростите на главното ($\vec{V}_c$) и подавателното ($\vec{V}_f$) движение;

- осова равнина P_p - равнината, която е едновременно перпендикулярна на основната равнина P_r и на установъчната равнина P_f ; тази равнина може да съвпада или да не съвпада с оста на инструмента;

- нормална равнина на режещия ръб P_n - равнината, перпендикулярна на главния режещ ръб;

По аналогичен начин се дефинират и координатните равнини за избрана точка M' от спомагателния режещ ръб. В наименованието им се добавя думата „спомагателен“, а в означението – знакът „прим“ (например P'_s - *спомагателна равнина на рязане*, P'_o - *равнина на спомагателното сечение*).

Координатните равнини в работната координатна система се дефинират както тези в инструменталната координатна система, наричат се *работни* и се означават с добавяне на индекс „ e “. Положението им се определя спрямо вектора на работната скорост на рязане $\vec{V}_e$.

Работните координатни равнини са: *работна основна равнина* P_{re} ; *работна равнина на рязане* P_{se} ; *работна установъчна равнина* P_{fe} ; *работна осова равнина* P_{pe} ; *работна равнина на главното сечение* P_{oe} .

В. Инструментални (статични) ъгли

Инструменталните ъгли, наричани още геометрични елементи, се определят и измерват в координатните равнини на инструменталната координатна система (Фиг.1.21). Това са ъгли на режещата част на инструмента, разглеждан като геометрично тяло, неучастващо в процеса на рязане. Те определят еднозначно положението (ориентацията) на режещия ръб, на предната и на задната повърхнина на стругарския нож. Означават се с букви от гръцката азбука и индекс за идентификация на равнината, в която се определят.



49

от главния режещ ръб, отрицателен, когато върхът на инструмента е най-ниската точка от главния режещ ръб, и равен на нула, когато $S \in P_r$, т.е. $S \perp \vec{V}_c$.

- **Предни ъгли**

Предните ъгли определят положението на предната повърхнина A_γ спрямо основната равнина P_r и са:

- *главен преден ъгъл* γ_o , заключен между предната повърхнина A_γ и основната равнина P_r , измерван в равнината на главното сечение P_o ;
- *страничен преден ъгъл* γ_f , заключен между предната повърхнина A_γ и основната равнина P_r , измерван в установъчната равнина P_f ;
- *осов преден ъгъл* γ_p , заключен между предната повърхнина A_γ и основната равнина P_r , измерван в осовата равнина P_p ;
- *нормален преден ъгъл* γ_n , заключен между предната повърхнина A_γ и основната равнина P_r , измерван в нормалната равнина на режещия ръб P_n .

Предните ъгли са положителни, ако пресечницата на предната повърхнина A_γ със съответната равнина P_o , P_f , P_p или P_n лежи на обратната страна на основната равнина P_r спрямо приетата посока на главното движение, отрицателни – в обратния случай и равни на нула, когато $A_\gamma \in P_r$, т.е. $A_\gamma \perp \vec{V}_c$.

- **Ъгли на режещия клин**

Ъглите на режещия клин са между предната повърхнина A_γ и главната задна повърхнина A_α и са:

- *главен ъгъл на режещия клин* β_o - измерва се в равнината на главното сечение P_o ;
- *страничен ъгъл на режещия клин* β_f - измерва се в установъчната равнина P_f ;
- *осов ъгъл на режещия клин* β_p - измерва се в осовата равнина P_p ;
- *нормален ъгъл на режещия клин* β_n - измерва се в нормалната равнина на режещия ръб P_n .

- **Задни ъгли**

Задните ъгли определят положението на задните повърхнини A_α и A'_α спрямо равнините на рязане P_s и P'_s . Те са:

- *главен заден ъгъл* α_o , заключен между главната задна повърхнина A_α и равнината на рязане P_s , измерван в равнината на главното сечение P_o ;
- *страничен заден ъгъл* α_f , заключен между главната задна повърхнина A_α и равнината на рязане P_s , измерван в установъчната равнина P_f ;
- *осов заден ъгъл* α_p , заключен между главната задна повърхнина A_α и равнината на рязане P_s , измерван в осовата равнина P_p ;

- нормален заден ъгъл α_n , заключен между главната задна повърхнина A_α и равнината на рязане P_s , измерван в нормалната равнина на режещия ръб P_n .

- спомагателен заден ъгъл α'_o - заключен между спомагателната задна повърхнина A'_α и спомагателната равнина на рязане P'_s .

Задните ъгли са винаги положителни.

Сумата от задния ъгъл, ъгъла на режещия клин и предния ъгъл, измерени в равнините P_o , P_f , P_p и P_n , е равна на 90° :

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ. \quad (1.39)$$

Между инструменталните ъгли съществуват еднозначни тригонометрични зависимости (Таблица 1.3 [6, 16]), които се използват при проектиране, изработване и експлоатация на режещите инструменти.

Таблица 1.3. Зависимости между инструменталните ъгли

	κ_r	λ_s	α_o	γ_o	κ_r	λ_s	α_n	γ_n
α_p	$\cot g \alpha_p = \cos \kappa_r \cdot \cot g \alpha_o + \sin \kappa_r \cdot tg \lambda_s$				$\cot g \alpha_p = \cos \kappa_r \frac{\cot g \alpha_n}{\cos \lambda_s} + \sin \kappa_r \cdot tg \lambda_s$			
α_f	$\cot g \alpha_f = \sin \kappa_r \cdot \cot g \alpha_o - \cos \kappa_r \cdot tg \lambda_s$				$\cot g \alpha_f = \sin \kappa_r \frac{\cot g \alpha_n}{\cos \lambda_s} - \cos \kappa_r \cdot tg \lambda_s$			
γ_p	$tg \gamma_p = \cos \kappa_r \cdot tg \gamma_o + \sin \kappa_r \cdot tg \lambda_s$				$tg \gamma_p = \cos \kappa_r \frac{tg \gamma_n}{\cos \lambda_s} + \sin \kappa_r \cdot tg \lambda_s$			
γ_f	$tg \gamma_f = \sin \kappa_r \cdot tg \gamma_o - \cos \kappa_r \cdot tg \lambda_s$				$tg \gamma_f = \sin \kappa_r \frac{tg \gamma_n}{\cos \lambda_s} - \cos \kappa_r \cdot tg \lambda_s$			

Към геометричните елементи на стругарския нож се отнасят:

- радиусът на закръгление на върха r_ϵ - заключен е между главния и спомагателния режещ ръб и се измерва в основната равнина P_r ;

- радиусът на закръгление на режещия ръб ρ_n - заключен е между предната и главната задна повърхнина и се измерва в нормалната равнина P_n .

При наличие на радиус на закръгление на върха r_ϵ се наблюдава изменение на главния установъчен ъгъл от нула, когато равнините P_s и P_f съвпадат, до стойност, определена от положението на главния режещ ръб S .

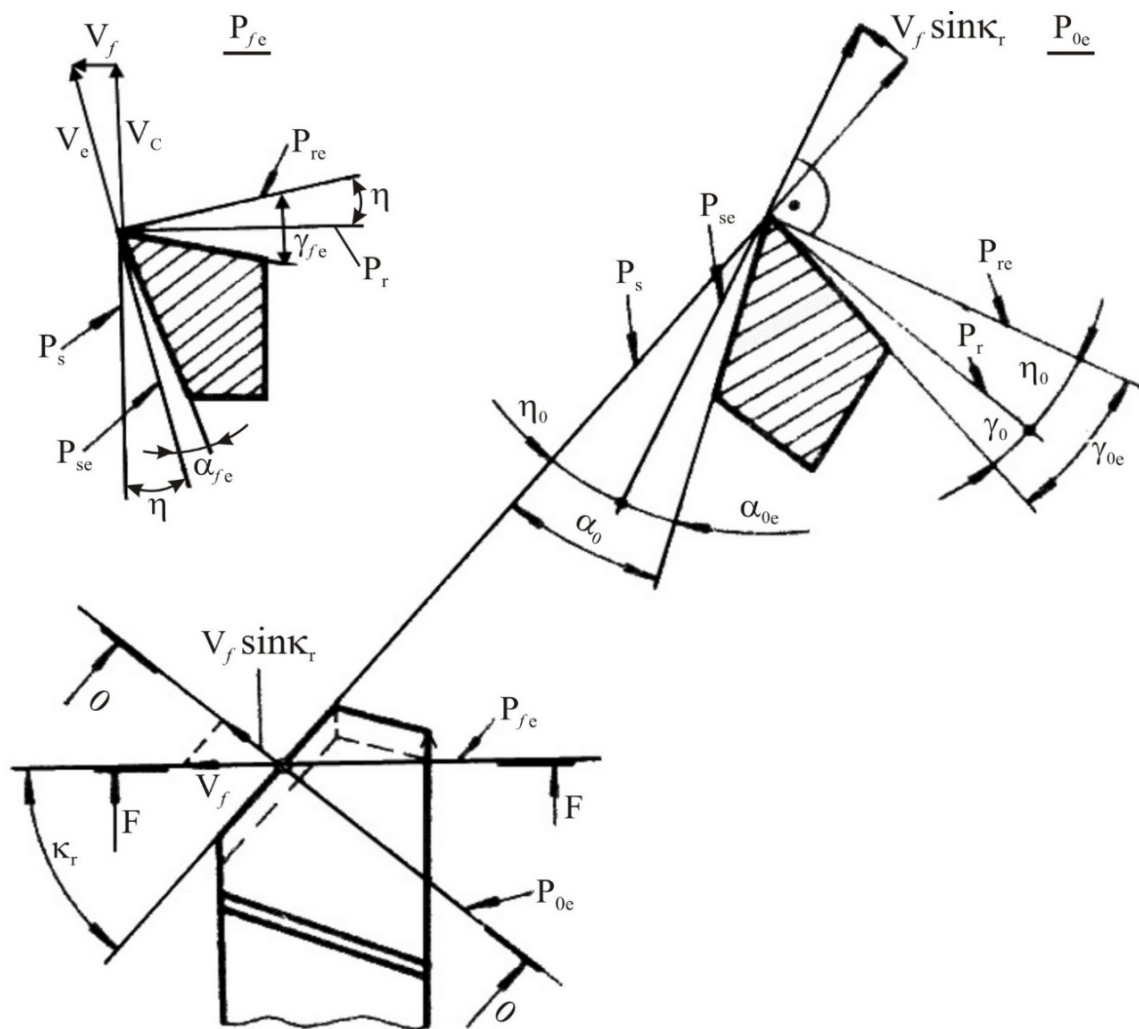
Големината на радиуса на закръгление на режещия ръб ρ_n се определя от минималната дълбочина на рязане $a_{\min}$ - когато $a_{\min} < \rho_n$, няма рязане, а когато $a_{\min} \geq \rho_n$, започва да протича процес на рязане.

Г. Работни ъгли

Геометричните елементи на инструмента се изменят в процеса на работа, тъй като се изменя положението на координатните равнини. Рязането се извършва при наличие едновременно на главно и подавателно движение със скорости съответно $\vec{V}_c$ и $\vec{V}_f$. От тях се определят големината и положението на вектора

на скоростта $\vec{V}_e$ на работното движение. Изменение на статичните ъгли на стругарския нож се наблюдава и когато върхът на инструмента не лежи на линията, определена от центрите на машината, и когато оста на инструмента не е перпендикулярна на оста на обработвания детайл. *Геометричните елементи на инструмента в процеса на работа се наричат работни*, дефинират се както статичните ъгли и се означават с добавяне на индекс „e“.

При *надлъжно подавателно движение* (Фиг. 1.22) траекторията на работното движение е винтова линия със стъпка f . Работната равнина на рязане P_{se} се приближава до главната задна повърхнина A_α , а работната основна равнина P_{re} се отдалечава от предната повърхнина A_γ . Ъгълът между статичната равнина на рязане P_s и работната равнина на рязане P_{se} е η (в равнината P_f) или η_o (в равнината P_o). Аналогично ъгълът между основната равнина P_r и работната основна равнина P_{re} е η (в равнината P_f) или η_o (в равнината P_o).



Фиг. 1.22. Работни ъгли на стругарския нож при надлъжно подавателно движение

Изменението на предния и задния ъгъл по абсолютна стойност е едно и също. Работните странични и главни задни и предни ъгли се определят от зависимостите:

$$\alpha_{fe} = \alpha_f - \eta; \quad \gamma_{fe} = \gamma_f + \eta; \quad (1.40)$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_o - \eta_o; \quad \gamma_{oe} = \gamma_o + \eta_o. \quad (1.41)$$

Ъглите η и η_o се определят от зависимостите:

$$\eta = \operatorname{arctg} \frac{V_f}{V_c} = \operatorname{arctg} \frac{f}{\pi D}; \quad (1.42)$$

$$\eta_o = \operatorname{arctg} \left(\frac{f}{\pi D} \sin \kappa_r \right), \quad (1.43)$$

където D е диаметърът на обработваната повърхнина.

При *напречно подавателно движение* (работа с отрязващ стругарски нож) траекторията на работното движение е спирала и изменението на ъглите на режещата част е аналогично. В този случай сеченията в равнината на главното сечение P_o и в установъчната равнина P_f съвпадат. Работните ъгли $\alpha_{oe} = \alpha_{fe}$ и $\gamma_{oe} = \gamma_{fe}$ се определят от зависимости (1.40) и (1.41), а ъгълът η_o се пресмята по формула (1.43), в която $\kappa_r = 90^\circ$.

За да се осъществи процесът на рязане, е необходимо работният главен заден ъгъл да е положителен ($\alpha_{oe} > 0$), което означава $\alpha_o > \eta_o$. При струговане ъгълът η_o е сравнително малък, поради много малките стойности на отношението (f/D) и посоченото условие се постига лесно.

При нарязване на резби с големи стъпки и малки диаметри или на многоходови резби се получават големи стойности на η_o , поради което е необходимо главният заден ъгъл да е голям - $\alpha_o \geq \eta_o + 4^\circ$.

В зависимост от характера на обработването стругарският нож се установява така, че върхът на инструмента да е разположен под или над линията на центрите на машината. При грубо обработване върхът на ножа се поставя малко над линията на центрите, а при чисто обработване – малко под линията на центрите. Големината на изместването h се избира в зависимост от диаметъра на обработваната повърхнина D - $h = (0,05 \div 0,1)D$.

Изместването на върха на стругарския нож изменя направлението на вектора на скоростта на рязане, а следователно и разположението на основната равнина и на равнината на рязане (Фиг. 1.23).

Работните осови задни и предни ъгли се определят от зависимостите:

$$\alpha_{pe} = \alpha_p \pm \eta_p; \quad \gamma_{pe} = \gamma_p \mp \eta_p, \quad (1.44)$$

като горните знаци са в сила, когато върхът на стругарския нож е под линията на центрите, а долните - когато върхът на ножа е над линията на центрите.

Ъгълът η_p се изчислява от зависимостта:

$$\eta_p = \arcsin \frac{2h}{D}. \quad (1.45)$$

Изменението η_o на главния преден ъгъл и на главния заден ъгъл се определя, като се вземат предвид зависимостите между главните и осовите ъгли

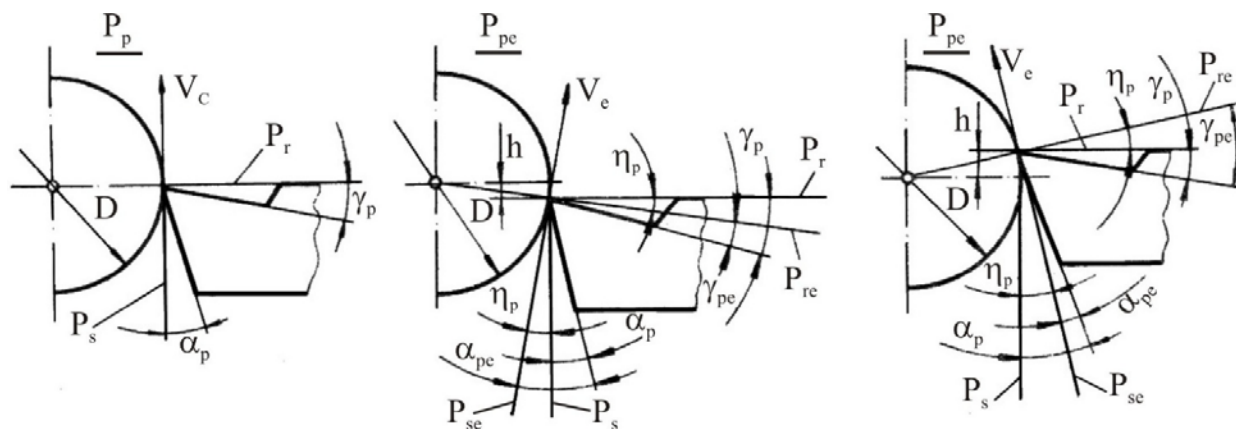
при $\lambda_s = 0^\circ$ (Таблица 1.3) и зависимост (1.45):

$$\operatorname{tg} \eta_o = \operatorname{tg} \eta_p \cdot \cos \kappa_r = \frac{\sin \eta_p}{\sqrt{1 - \sin^2 \eta_p}} \cos \kappa_r = \frac{2h \cdot \cos \kappa_r}{\sqrt{D^2 - 4h^2}}. \quad (1.46)$$

Работните главни задни и предни ъгли се определят от зависимостите:

$$\alpha_{oe} = \alpha_o \pm \eta_o; \quad \gamma_{oe} = \gamma_o \mp \eta_o, \quad (1.47)$$

като горните знаци са в сила, когато върхът на стругарския нож е под линията на центрите, а долните - когато върхът на ножа е над линията на центрите.



Фиг. 1.23. Работни ъгли на стругарския нож при изместване на върха на ножа спрямо линията на оста на центрите на машината

Ако при установяването на ножа оста му не е перпендикулярна на оста на обработвания детайл, работните установъчни ъгли не са равни на статичните:

$$\kappa_{re} = \kappa_r \pm \eta_r, \quad \kappa'_{re} = \kappa'_r \mp \eta_r, \quad (1.48)$$

където η_r е завъртане на оста на ножа спрямо перпендикуляра към оста на обработвания детайл. Горните знаци са валидни при завъртане на оста на ножа в посока, обратна на движението на часовниковите стрелки, а долните – при завъртане в посока на движението на часовниковите стрелки.

Д. Предназначение на геометричните елементи

Геометричните елементи се избират в зависимост от вида на инструмента, физико-механичните свойства на обработвания и инструменталния материал и вида на обработването. Те оказват влияние както върху работоспособността на инструмента, така и върху физичните, технологичните и икономическите параметри на процеса рязане. От стойностите им зависят силите и температурата на рязане, якостта на режещия клин, износоустойчивостта и трайността на режещия инструмент, качеството на обработените повърхнини, производителността и себестойността на обработката.

Предният ъгъл γ_o влияе върху характера на стружкообразуването и стружкоотвеждането. Увеличаването на γ_o води до намаляване на силите на рязане, но е ограничено от якостта на режещия клин на инструмента и от якостта и твърдостта на обработвания материал. При обработване на високояки и твърди материали (износоустойчиви стомани, избелени чугуни)

стругарските ножове имат ъгли $\gamma_o = (-10^\circ) \div (-15^\circ)$, при обработване на въглеродни и легирани стомани $\gamma_o = 10^\circ \div 20^\circ$, а при обработване на алуминий и неговите сплави $\gamma_o = 30^\circ \div 45^\circ$ [6, 48]. При чисто обработване ъгълът γ_o е с по-голяма стойност в сравнение с тази при грубо обработване. Инструментите със сменяеми режещи пластини от твърдосплавни материали имат обикновено по-малки ъгли от инструментите от бързорежещи стомани.

Главният заден ъгъл α_o оказва влияние върху големината на силата на триене между главната задна повърхнина на инструмента и повърхнината на рязане, а като резултат и върху грапавостта на обработената повърхнина. Стойностите на задните ъгли са в границите от 6° до 14° , като за чисто обработване се избират по-големи ъгли ($\alpha_o = 10^\circ \div 14^\circ$) [6, 48]. Инструментите със сменяеми режещи пластини от твърдосплавни материали имат по-голям заден ъгъл от инструментите от бързорежещи стомани. Големината на задните ъгли зависи и от физико-механичните свойства на обработвания материал - жилавите и пластичните материали се обработват с ножове с по-голям заден ъгъл (например $\alpha_o = 12^\circ \div 15^\circ$ за обработване на алуминий), а твърдите и крехките - с по-малък ($\alpha_o \leq 5^\circ$) [6, 48].

Главният установъчен ъгъл κ_r влияе върху температурата на рязане и върху големината на нормалната сила на рязане. Той се изменя в границите от 15° до 95° . С намаляване на ъгъл κ_r се увеличава дължината на контакта между главния режещ ръб и повърхнината на рязане, подобрява се топлоотвеждането и намалява температурата на рязане. Това създава условия за увеличаване на скоростта на рязане, а като резултат и на производителността на обработване при постоянна трайност на инструмента. Намаляването на κ_r обаче води до увеличаване на нормалната сила на рязане, а като резултат до големи деформации и недопустими трептения в технологичната система. Затова големината на минималния установъчен ъгъл, който се използва при дадена операция, зависи от стабилността на технологичната система. Установъчни ъгли $\kappa_r = 60^\circ \div 75^\circ$ се използват при общо струговане, докато стругарски ножове с $\kappa_r = 90^\circ$ се прилагат при обработване на дълги и тънки заготовки. Установено е, че при $\kappa_r = 45^\circ$ се получава най-голяма производителност, при $\kappa_r \geq 60^\circ$ - най-малка сила и мощност на рязане, а при $\kappa_r = 90^\circ$ - най-голяма точност на обработената повърхнина [6, 48].

Спомагателният установъчен ъгъл κ'_r оказва влияние върху грапавостта на обработената повърхнина и се избира от 5° до 30° .

Ъгълът на наклона на главния режещ ръб λ_s определя посоката на отвеждане на стружките. При $\lambda_s = 0^\circ$ стружката се отвежда в направление, перпендикулярно на режещия ръб. При $\lambda_s > 0^\circ$ стружката се отвежда наляво, в направление на обработваната повърхнина, а при $\lambda_s < 0^\circ$ - надясно, в направление на обработената повърхнина.

1.3.4. Инструментални материали

Режещата част на инструментите се изработва от различни по вид и състав материали. Изборът на инструментален материал зависи от функционалното предназначение и размерите на инструментите, начина на изработване, вида на обработвания материал, условията на работа и др. Този избор определя производителността, икономичността и качеството при обработване.

А. Основни изисквания към инструменталните материали

Производителността при обработване зависи в голяма степен от скоростта на рязане и от времето, за което инструментът запазва своята формообразуваща и режеща способност при тази скорост. От друга страна, в процеса на рязане режещият инструмент е подложен на голямо силово натоварване, топлинно въздействие и интензивно износване. Ето защо се предявяват ***изисквания към физико-механичните свойства на инструменталните материали.***

- ***Твърдост и якост***

Твърдостта на инструменталния материал трябва значително да превишава твърдостта на обработвания материал, за да може режещият клин на инструмента да се врязва в обработваната повърхнина. От друга страна, инструментът трябва да се съпротивлява срещу разрушаване от натоварвания на натиск, опън, огъване и усукване. Увеличаването на твърдостта на инструменталния материал води до увеличаване на якостта на натиск, но намаляват якостта на опън, огъване и усукване.

- ***Топлопроводимост***

Топлопроводимостта на инструменталните материали трябва да е голяма, за да се осигури отвеждане на образуваната в зоната на рязане топлина от работната част на инструмента.

- ***Топлоустойчивост***

Топлоустойчивостта характеризира способността на инструменталния материал да запазва своята твърдост, якост и износоустойчивост до определена температура. Температурата, при която инструменталният материал губи тези свойства, т.е. загубва режещата си способност, се нарича *критична*. Колкото по-висока е тази температура, толкова с по-голяма скорост на рязане може да работи режещият инструмент.

- ***Износоустойчивост***

Износоустойчивост на инструменталния материал се нарича способността му да се съпротивлява на износването в процеса на рязане. Износоустойчивостта зависи от твърдостта, якостта и топлоустойчивостта на материала, а също и от условията на рязане.

- ***Адхезия***

При високите налягания и температури, възникващи в зоната на рязане, започва да се проявява действието на междумолекулярните сили между материалите на инструмента и обработвания детайл. Адхезията се определя от температурата, при която под действието на междумолекулярните сили двата материала прилепват един към друг. Колкото по-висока е температурата на

прилепване, толкова по-качествен е инструменталният материал. Химическата инертност на инструменталния материал по отношение на обработвания материал определя ефективната експлоатация на режещия инструмент.

За изработване на режещи инструменти се прилагат всички известни методи за обработване: леене, пластично деформиране, рязане, термообработване, спояване, нанасяне на покрития. Ето защо ***инструменталните материали трябва да имат добра механична и термична обработваемост.***

Стойността на инструменталните материали влияе пряко върху ефективността на експлоатация на режещите инструменти. Като правило, материалът с по-добри режещи качества има по-висока цена. Поради високите цени е целесъобразно инструменталният материал да се избира така, че рационално да се използват режещите му качества.

Б. Видове инструментални материали

За изработване на режещи инструменти се използват инструментални стомани, металокерамични твърди сплави, минералокерамични, свръхтвърди и абразивни материали.

За изработване на съединителните части на инструментите, както и за корпусите на съставните и сглобяемите инструменти се използват конструкционни материали, които трябва да осигуряват минимални деформации при термообработка и добра обработваемост чрез шлифване. Такива материали са конструкционните стомани, марки *C40, C45, C50, 41Cr4, 40NiCr6* и др.

• Инструментални стомани

Инструменталните стомани се класифицират на въглеродни, легирани и бързорежещи в зависимост от химичния състав.

Въглеродните инструментални стомани съдържат $0,3 \div 1,3\%$ въглерод, който определя техните физико-механични свойства. Делят се на две групи: *качествени* и *висококачествени*, като последните имат понижено съдържание на фосфор и сяра.

За изработване на режещи инструменти се използват главно висококачествените въглеродни стомани *U10A, U11A, U12A, U13A*. След термично обработване (закаляване и отвярщане при подходяща температура) тези стомани имат сравнително висока твърдост ($58 \div 64 \text{ HRC}$) и голяма якост на огъване ($2500 \div 3000 \text{ MPa}$). Въглеродните инструментални стомани се характеризират с малка топлоустойчивост ($200 \div 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$) и изнosoустойчивост, лошо се закаляват - склонни са към деформиране и образуване на пукнатини. Тези стомани са евтини и добре се шлифват. Използват се главно за изработване на пили, ленти за ножовки, дървообработващи инструменти, а също и на някои видове метчици, плашки и зенкери, работещи при ниски скорости на рязане ($V_c = 5 \div 12 \text{ m/min}$).

Легираните инструментални стомани (*X165Cr-MoV12, 56NiCrMoV7, 150WCr6*, и др.) съдържат хром, волфрам, молибден, ванадий и други легиращи елементи. Те имат по-добри режещи свойства, по-висока жилавост, по-малка склонност към деформации и образуване на пукнатини при термообработка от въглеродните инструментални стомани. Осигуряват по-висока твърдост ($62 \div 64 \text{ HRC}$) и топлоустойчивост ($250 \div 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Това дава възможност

инструментите, изработени от тях, да работят с по-големи скорости на рязане ($V_c = 15 \div 25 \text{ m/min}$). Тази група стомани се използва за изработване на инструменти с голяма дължина (протяжки, райбери, зенкери, ножовки, метчици и др.), както и на дървообработващи и ръчни металорежещи инструменти.

Бързорежещите стомани (HSS) са с най-голямо приложение – от тях се изработват до 70% от режещите инструменти (фрези, свредла, зенкери, райбери, метчици, плашки, профилни стругарски ножове, протяжки, зъбообработващи инструменти и др.), както и пластини с различни форми и размери. Големото приложение се дължи на добрите им режещи качества, добрата термична и механична обработваемост и на сравнително ниската им цена. Тези стомани имат голямо съдържание на карбидообразуващи елементи (волфрам, молибден, ванадий, хром и кобалт), които повишават топлоустойчивостта ($600 \div 650^\circ\text{C}$), якостта на огъване ($2500 \div 5000 \text{ MPa}$), якостта на натиск ($2500 \div 4000 \text{ MPa}$) и износоустойчивостта. След термообработване се получава твърдост $62 \div 67 \text{ HRC}$. Благодарение на тези свойства, инструментите от бързорежещи стомани могат да работят при високи скорости на рязане ($V_c = 20 \div 100 \text{ m/min}$).

Бързорежещите стомани се означават с буквите *HS* и четири цифри, показващи процентното съдържание на волфрам, молибден, ванадий и кобалт (например *HS.18.1.2.15*, *HS.2.9.2.8*). Тези стомани се делят на четири групи:

- ✓ *волфрамови стомани* (с високо съдържание на волфрам - 18%) - използват се за изработване на инструменти за грубо обработване на стомани и чугуни;
- ✓ *волфрам-ванадиеви стомани* (с повишено съдържание на волфрам - 12% и ванадий) – от тях се изработват режещи инструменти за чисто обработване на стомана, профилни режещи инструменти и инструменти за работа на металорежещи автомати;
- ✓ *волфрам-молибденови стомани* (съдържат 6% волфрам и 5% молибден) - най-разпространените бързорежещи стомани с висока износоустойчивост и жилавост, от които се изработват режещи инструменти, работещи при средни и тежки режими на рязане;
- ✓ *молибденосъдържащи стомани* (съдържат 2% волфрам и 9% молибден) - от тях се изработват почти всички режещи инструменти; ако съдържат кобалт, се характеризират с повишена твърдост и износоустойчивост и се използват за инструменти, работещи при тежки условия (високо-скоростно обработване с голямо подаване и голяма дълбочина на рязане).

Качествата на бързорежещите стомани зависят съществено и от метода на получаване – например стоманата, получена чрез електрошлаково леене, има по-добра структура и по-добра износоустойчивост в сравнение с тази, получена чрез топене в пещи. За получаване на стомани се използват и методите на праховата металургия. Тези стомани се характеризират с еднородна дребнозърнеста структура, по-висока твърдост, повишена корозионна устойчивост, износоустойчивост и по-добра механична обработваемост в сравнение с класическите при един и същ химичен състав. Използват се за изработване на инструменти, работещи при повишени температури и тежки режими на рязане.

- **Металокерамични твърди сплави**

Металокерамичните твърди сплави са синтеровани материали, получени чрез пресоване и изпичане. Състоят се от карбиди на труднотопими метали (волфрам, титан и тантал), равномерно разпределени в кобалтова свързка. Тези материали са намерили широко приложение в практиката поради равномерната структура, високата твърдост ($88\div 92\text{ HRA}$), топлоустойчивост ($850\div 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$), износоустойчивост, якост на натиск ($3200\div 5800\text{ MPa}$) и задоволителната якост на огъване ($1000\div 2000\text{ MPa}$). Това дава възможност изработените от тях инструменти да работят при високи скорости на рязане, $5\div 10$ пъти по-големи в сравнение с тези за инструменти от бързорежещи стомани.

Металокерамичните твърди сплави са значително по-скъпи от бързорежещите стомани, затова е икономически изгодно да се работи с високи скорости на рязане. Те се използват във вид на стандартизирани пластини с различна форма и размери, които се спояват, залепват или закрепват по механичен начин към тялото на инструмента. Изработват се и монолитни режещи инструменти, работната част на които изцяло е изпълнена от металокерамична твърда сплав.

Металокерамичните твърди сплави в зависимост от предназначението си се делят на три групи - Таблица 1.4:

- ✓ *Сплави от група Р* – характеризират се с голяма твърдост и износоустойчивост и с неголяма топлопроводимост и якост на огъване. Предназначени са за обработване на материали, които образуват непрекъснати дълги стружки (стомани, ковък чугун).
- ✓ *Сплави от група М* - предназначени са за обработване на трудно-обработваеми материали (топлоустойчиви, високояки и неръждаеми стомани, чугуни с голяма твърдост, титанови сплави и др.).
- ✓ *Сплави от група К* – отличават се с голяма топлопроводимост и неголяма топлоустойчивост. Износоустойчивостта им е по-ниска от износоустойчивостта на сплавите от група Р. Предназначени са за обработване на материали, които образуват къси начупени стружки (чугун, цветни метали и сплави, пластмаси).

Всяка група е разделена на подгрупи, които се означават с двуцифрени числа. Нарастването на числото в означението показва увеличаване на жилавостта и намаляване на твърдостта и износоустойчивостта на материала.

През последните години, в резултат на усъвършенстване на химичния състав на металокерамичните твърди сплави, е приета *нова класификация* [26-31, 63]. В зависимост от вида на обработвания материал и вида на образуващите се стружки металокерамичните твърди сплави са разделени в шест групи, означени с буквите Р, М, К, N, S и H (Таблица 1.5).

Металокерамичните твърди сплави съдържат голям процент дефицитен и скъп метал – волфрам. Поради това са създадени *безволфрамови твърди сплави*, в които волфрамът е заменен с молибден, никел и други метали. Безволфрамовите твърди сплави имат по-голяма твърдост и износоустойчивост от волфрамовите, но са по-крехки. Това дава възможност инструментите от тези материали да работят с $2\div 2,5$ пъти по-големи скорости на рязане, но само при

чисто и получисто обработване на феросплави, никел, мед и мелхиор (алпака). Разпространени са следните марки безволфрамови твърди сплави: *ТМ-1*, *ТМ-3*, *ТН-20*, *КНТ-16* и др.

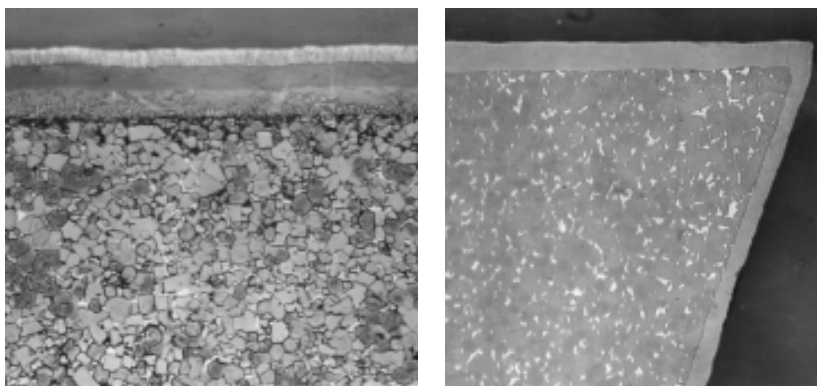
Таблица 1.4. Металокерамични твърди сплави (ISO 513:2004)

Група (цвят)	Под група	Износоустойчивост и твърдост	Скорост на рязане	Жила-вост	Подаване	Вид на обработването	Обработван материал
<i>P</i> (син)	<i>P01</i> <i>P10</i> <i>P15</i> <i>P20</i> <i>P25</i> <i>P30</i> <i>P35</i> <i>P40</i> <i>P50</i>	↑	↑	↓	↓	Чисто	Въглеродни стомани; стоманени отливки; мартензитно-феритни неръждаеми стомани; ковък и модифициран чугун
						Грубо	
<i>M</i> (жълт)	<i>M10</i> <i>M20</i> <i>M30</i> <i>M40</i>	↑	↑	↓	↓	Чисто	Аустенитни неръждаеми стомани; топлоустойчиви и високояки стомани; легирани и сиви чугуни с висока твърдост; титан и титанови сплави
						Грубо	
<i>K</i> (червен)	<i>K01</i> <i>K05</i> <i>K10</i> <i>K15</i> <i>K20</i> <i>K25</i> <i>K30</i>	↑	↑	↓	↓	Чисто	Високояки чугуни; закалени стомани; цветни метали; пластмаси
						Грубо	

Таблица 1.5 Класификация и области на приложение на металокерамичните твърди сплави

Група металокерамични твърди сплави	Група обработвани материали
<i>P</i>	Въглеродни и легирани конструкционни и инструментални стомани
<i>M</i>	Аустенитни неръждаеми стомани
<i>K</i>	Сиви и ковки чугуни
<i>N</i>	Мед и медни сплави, алуминий и алуминиеви сплави, бронз, неметални материали – пластмаси, фенопласти, графити, каучук, стъклени влакна
<i>S</i>	Топлоустойчиви и титанови сплави
<i>H</i>	Закалени стомани и чугуни

За да се увеличи изнosoустойчивостта на металокерамичните твърди сплави и за да се използват по-добре техните режещи качества, се нанасят покрития от титанов карбид, титанов нитрид, титанов карбонитрид, диалуминиев триоксид или комбинация от тях (Фиг. 1.24 [75, 76]). Дебелината на изнosoустойчивото



Фиг. 1.24. Изнosoустойчиви покрития - структура

покритие е $3 \div 9 \mu m$, а броят на слоевете - два, три или повече. Тези покрития увеличават трайността на твърдосплавните инструменти до 6 пъти при обработване на чугуни и до 3 пъти при обработване на стомани. Увеличават се скоростта на рязане и топлопро-

водимостта. Особено ефективно е нанасянето на покрития върху сменяеми режещи пластини. Пластини с покрития обаче не се препоръчват за обработване на алуминиеви, магнезиеви и титанови сплави, сплави с високо съдържание на никел и корозионноустойчиви стомани.

- **Минералокерамични материали**

Минералокерамичните режещи материали се получават на основата на диалуминиев триоксид (Al_2O_3) и силициев нитрид (Si_3N_4) чрез пресоване и изпичане. Изходните материали за тяхното производство са многократно поевтини от тези за металокерамичните твърди сплави. Минералокерамичните материали имат добра якост на натиск, голяма твърдост ($92 \div 95 HRA$), топлоустойчивост (до $1200^\circ C$) и изнosoустойчивост, малка прилепваемост. Това позволява да се обработват материали с повишена твърдост с големи скорости на рязане.

Тези материали обаче имат и някои съществени недостатъци, които ограничават тяхното приложение: понижена якост на огъване ($300 \div 400 MPa$) и ударна якост, малка пластичност и топлопроводимост, голяма чувствителност към температурни промени. Затова инструментите от минералокерамика се използват предимно за чисто обработване на различни материали (въглеродни и легирани стомани, закалени стомани, високояки чугуни), при постоянно натоварване и когато няма вибрации. Работи се без прилагане на смазочно-охлаждаща течност, за да се избегне топлинното разрушаване. Механичното счупване може да се минимизира, като се използват металорежещи машини с голяма стабилност и непрекъснато рязане. Съществено влияние оказва изборът на скорост на рязане и на геометрия на режещия инструмент.

Минералокерамичните материали се разделят на следните групи (Таблица 1.6) [45, 46, 75]:

- ✓ **Оксидна керамика (бяла минералокерамика)**, получена от Al_2O_3 с добавка на ZrO_2 (до 10%) – прилага се за грубо и чисто обработване на стомани (включително закалени стомани) и по-рядко на чугуни.

Таблица 1.6. Минералокерамични материали

Тип на режещата керамика	Състав и технология		Области на приложение
Оксидна	Al_2O_3	СП	Чисто струговане на стомани и чугуни
	Al_2O_3	ГП	Грубо и чисто струговане на стомани и чугуни
	$Al_2O_3+ZrO_2$	СП	Грубо и чисто струговане на суперсплави и чугуни, чисто фрезование на чугуни и стомани
Оксидно-карбидна	Al_2O_3+TiC	ГП	Чисто струговане на закалени стомани, суперсплави и чугуни
	Al_2O_3+TiC	ГИП	Струговане на въглеродни и легирани стомани и чугуни; фрезование и свредловане на чугуни
Оксидно-нитридна	Al_2O_3+TiN	ГП	Струговане на стомани, чугуни и цветни сплави
Нитридно-силициева	Si_3N_4	ГП	Грубо и чисто струговане и фрезование на чугуни и суперсплави, струговане със СОТ
	$Si_3N_4+ZrO_2$	ГИП	Грубо и чисто струговане и фрезование на чугуни и суперсплави, струговане със СОТ
	Сиалон+ TiN	ГП	Грубо и чисто струговане и фрезование на стомани, чугуни и суперсплави
Армирана	Al_2O_3+SiC	ГП	Струговане и фрезование на закалени стомани, чугуни и суперсплави
	Si_3N_4+SiS	ГП	Струговане и фрезование на чугуни и суперсплави
* СП – студено пресоване; ГП – горещо пресоване; ГИП – горещо изостатично пресоване			

- ✓ *Оксидно-нитридна керамика* - композитен материал, получен от Al_2O_3 с добавяне на определено количество TiN (картинит – състав: 60% Al_2O_3 и 30% TiN) – прилага се при струговане на стомани, чугуни и сплави на цветни метали.
- ✓ *Нитридно-силициева керамика* (горещо пресован силициев нитрид и сиалон – композитен материал, получен на основата на Si_3N_4 с добавяне на определено количество Al_2O_3). Инструментите от този материал имат висока изнosoустойчивост при обработване на сив чугун и суперсплави, но са подложени на интензивно дифузионно износване при високо-скоростно обработване на стомани. Една от разновидностите на тази керамика (*Силинит-Р*), получена на основата на сиалон с добавка от TiN (36,6% Si_3N_4 , 41,8% TiN , 15,4% Al_2O_3 , 6,2% AlN), се прилага успешно при чисто и получисто обработване на въглеродни и инструментални стомани с твърдост до 70 HRC, както и на сиви и избелени чугуни. Може да се използва в условията на прекъснато струговане и челно фрезование, когато режещият инструмент е подложен на динамични натоварвания, защото якостта на огъване е до 700 MPa.
- ✓ *Армирана режеща керамика* с нишковидни кристали силициев карбид – този материал съчетава висока якост на огъване (до 1000 MPa) с висока твърдост (92 HRA), изнosoустойчивост и топлоустойчивост. Използва се при струговане и фрезование на закалени стомани, чугуни и суперсплави.



Фиг. 1.25. Минералокерамични пластини

Минералокерамичните режещи материали се използват във вид на сменяеми режещи пластини с определена форма и размери (Фиг. 1.25). Те се прилагат за високоскоростно обработване. Използването им вместо металокерамичните твърди сплави позволява да се увеличи скоростта на рязане до 500 m/min при струговане на стомана и до $600\div 900 \text{ m/min}$ при фрезование на чугун, а подаването и количеството на снетия материал да

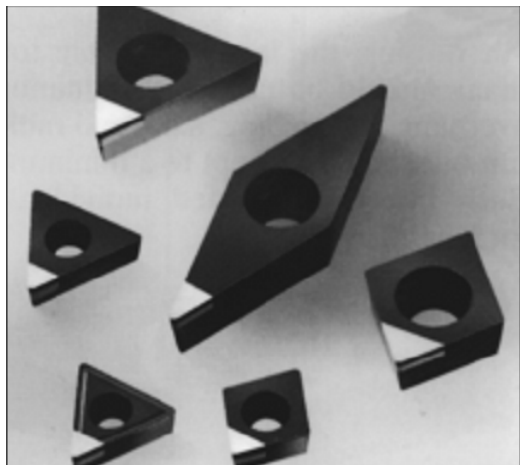
нараснат до 4 пъти [45, 46]. Режещата керамика успешно се използва при изработване на свредла и палцови фрези за обработване на специални сплави с високи скорости на рязане.

- **Свърхтвърди материали**

Свърхтвърдите материали са две групи – диамант и материали на основата на кубичен борен нитрид.

Диамантът има най-висока твърдост от известните инструментални материали (5 пъти по-голяма от твърдостта на металокерамичните твърди сплави и 15 пъти - от тази на бързорежещите стомани), но е с ниска якост на огъване (30 MPa). Той се отличава с висока изнosoустойчивост, генерира много малко триене при рязане, има добра топлопроводимост и устойчивост на химична корозия. Дребнозърнестият му кристален строеж позволява да се получат инструменти с остър режещ ръб. Топлоустойчивостта му е в диапазона $700\div 750 \text{ }^\circ\text{C}$ за природните и $600\div 700 \text{ }^\circ\text{C}$ за синтетичните диаманти. При тези температури диамантът става химически активен с черните метали и се влошават режещите му качества. *Поради това диамантените инструменти не се използват за обработване на стомани и чугуни, тъй като в този случай имат малка изнosoустойчивост.*

За режещи инструменти се използват най-често синтетични поликристали с размери от $3,5 \text{ mm}$ до 10 mm . *Поликристалният диамант (PCD)* се получава при



Фиг. 1.26. Поликристални диамантни материали, споени върху пластини от WC

високи температури и налягания, при които частици от диаманта се втвърдяват при наличието на катализатори (желязо, никел и/или кобалт) в твърда маса (поликристал) или в подложка от WC, запълнена с поликристал. Веднъж произведен, компактният поликристал се реже на ерозийни машини на малки парчета, които се спояват върху пластини от WC (Фиг. 1.26).

Разработени са различни сортове PCD, различаващи се по размерите на зърната, които варират в границите от

1÷100 μm . С нарастване на размера на зърната се увеличават устойчивостта на абразивно износване, топлопроводимостта и якостта на удар. Инструментите с фини зърна обаче осигуряват по-малка грапавост на обработените повърхнини.

Инструментите от *PCD* имат голяма размерна трайност (до 100 пъти по-голяма в сравнение с инструментите от металокерамични твърди сплави) и осигуряват високо качество на обработените повърхнини. Прилагат се за обработване на цветни метали и техните сплави, титанови сплави, неметални материали (стъклопласти, пластмаси и др.), металокерамични твърди сплави, керамика и др. Инструментите са чувствителни на вибрации, затова с тях се работи на много стабилни машини.

За обработване на черни метали най-ефективни са свръхтвърдите материали на основата на *кубичен борен нитрид (CBN)*. По редица свои качества кубичният борен нитрид превъзхожда диаманта – той е материал с твърдост, малко по-малка от твърдостта на диаманта, с три пъти по-малка топлопроводимост, но с много по-голяма топлоустойчивост (до 1400 °C). Освен това е химически инертен към въглерода. По тази причина износоустойчивостта на кубичния борен нитрид при обработване на стомани и чугуни е значително по-голяма от тази на диаманта.

От кубичен борен нитрид се произвеждат поликристали с размери до 5÷6 *mm*. *Поликристалният кубичен борен нитрид (PCBN)* се получава по технология, близка до технологията за получаване на поликристален диамант, но в качеството на изходна суровина се използва борен нитрид. Кубичният борен нитрид е с подобна на диаманта поликристална структура и също се свързва с карбидна основа. Той се характеризира с висока твърдост (75÷95 *GPa*), якост на умора между тази на волфрамовия карбид и керамиките, голяма топлопроводимост и нисък коефициент на термично разширяване, което го прави по-малко чувствителен на топлинни натоварвания в сравнение с керамиките. Това е причината този материал да е термично стабилен при температури до 1400° C и да има високи режещи качества при големи скорости на рязане.

Произвеждат се няколко сорта *PCBN* [45, 75]. *Обикновеният сорт PCBN* е с високо съдържание на *CBN* (>80%) и със свързващо вещество метал (*Al*). Той се произвежда в две разновидности: режещи пластини и монолитен. *Композиционният сорт PCBN* има ниско съдържание на *CBN* (<80%) и свързващото вещество е керамика (*TiC* и *TiN*). Якостта на умора и топлопроводимостта нарастват с увеличаване на съдържанието на *CBN*. Пластините с ниско съдържание на *CBN* имат по-голяма якост на натиск.

Инструментите от *PCBN* се използват при високоскоростно обработване на материали с твърдост 45÷65 *HRC* (твърди стомани, бързорежещи и трудно-обработваеми стомани, твърд и мек чугун, никелови сплави). Колкото твърдостта на обработваните материали е по-висока, толкова ефектът от използване на инструменти от *PCBN* е по-голям в сравнение с твърдосплавните инструменти. Високата якост на умора на *PCBN* прави инструментите от тези материали подходящи за прекъснато рязане (например фрезование).

Обикновените сортове *PCBN* се използват за инструменти за груба и чиста обработка на описаните по-горе материали. Композитните сортове много добре

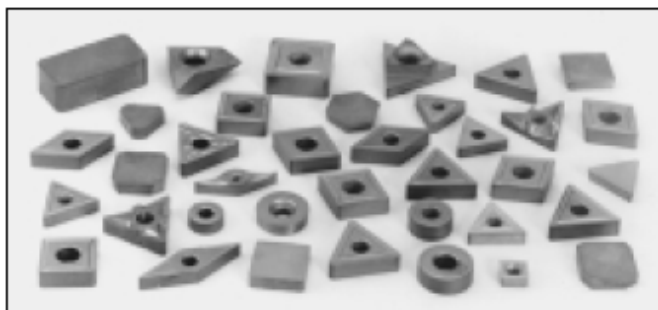
се прилагат за високоскоростно фино обработване на твърди стомани и за прекъснати и непрекъснати фини операции при твърд и мек леярски чугун.

Скоростите на рязане на инструментите от *PCBN* са $600 \div 1400 \text{ m/min}$ за обработване на сив леярски чугун, $80 \div 300 \text{ m/min}$ за обработване на твърд леярски чугун, $180 \div 400 \text{ m/min}$ за обработване на специални сплави, $70 \div 300 \text{ m/min}$ за обработване на твърди стомани [45, 75].

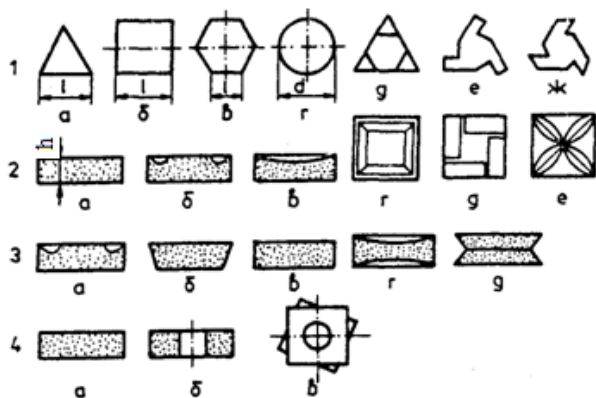
1.3.5. Многогорбови пластини – класификация и означение

Създадените и прилагани в практиката многогорбови пластини от металокерамика, минералокерамика и свръхтвърди материали (диамант и кубичен борен нитрид) (Фиг.1.25÷1.27) могат да се класифицират по следните признаци (Фиг. 1.28):

- ✓ Форма на челото – тристенни (триъгълни), четиристенни (квадратни, ромбовидни), многостенни (многоъгълни), кръгли и специални. Пластините с форми 1 а, б, в, г се използват за изработване на проходни и подрязващи ножове, фрези, зенкери и др., пластините с форми 1 д, е – за изработване на канали, пластините с форма 1 ж – за нарязване на резби.
- ✓ Форма на предната повърхнина – плоски (2 а), с различно оформени канали (2 б, г, д, е) и със сферична повърхнина (2 в). Най-технологични са пластините с плоска предна повърхнина, но с такива пластини по-трудно се осигуряват необходимите стойности на предните ъгли на инструментите и завиването и чупенето на стружката.
- ✓ Брой на работните и базащите повърхнини – едностранни (3 а, б) и двустранни (3 в, г, д). При едностранните пластини едната повърхнина се използва за базаща и за работна. При двустранните пластини всяка повърхнина се използва като работна и базаща, като по този начин се осигуряват два пъти повече режещи ръбове, отколкото при едностранните пластини. Основно се използват едностранни пластини, порядко – двустранни с плоска предна повърхнина.



Фиг.1.27. Многогорбови пластини



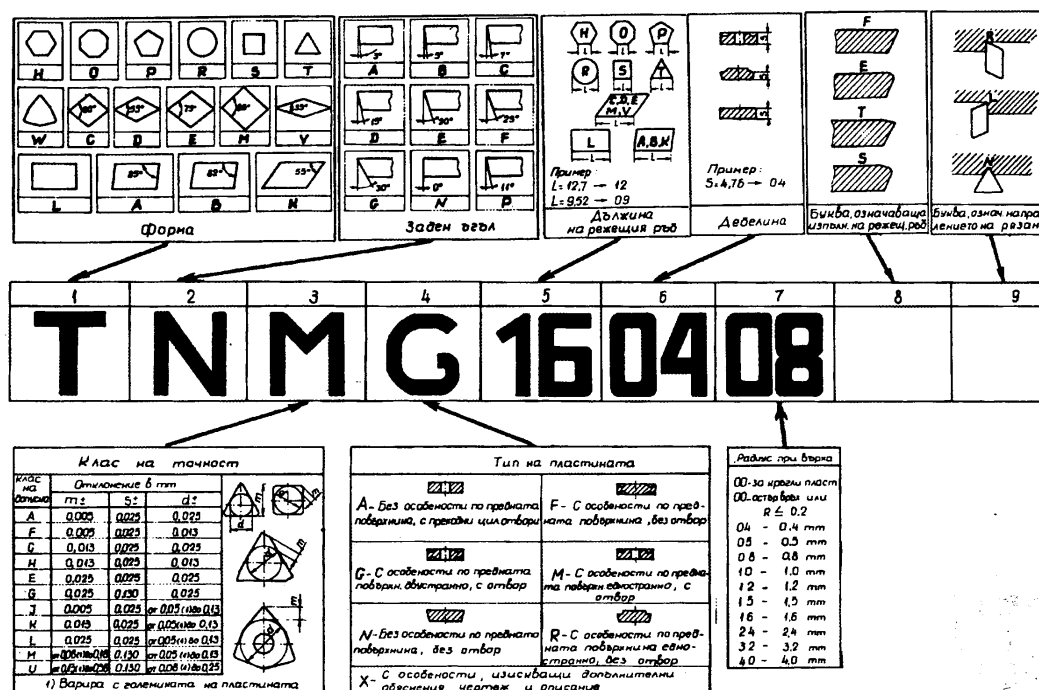
Фиг.1.28. Класификация на многогорбовите пластини

- ✓ Начин на базиране и закрепване – с плоска база без отвор (4 а), с плоска база с отвор (4 б), с цилиндрична база (4 в).
- ✓ Точност на изработване – пластините се изработват с различна степен на точност на размерите и формата и са два

вида: пластини с шлифована базираща повърхнина и пластини, всички повърхнини на които са шлифовани.

- ✓ Размери на пластините – дебелина (избира се в зависимост от натоварването на пластината от силите на рязане), периметър на пластината (приема се възможно най-малък, но достатъчен, за да може да се закрепят пластината и да се формира свободно стружката по предната повърхнина).

Многоръбовите пластини са стандартизирани по ISO 1832:2004(E) и се означават с поредица от букви и цифри. ISO-кодът включва девет символа (Фиг. 1.29): 1. Форма на пластината; 2. Заден ъгъл на пластината; 3. Клас на точност; 4. Тип на пластината; 5. Дължина на режещия ръб; 6. Дебелина на пластината; 7. Радиус при върха; 8. Форма на режещия ръб; 9. Посока на рязане. Последните два символа (8 и 9) се използват само при необходимост. Към ISO-кода могат да се добавят и други символи, например за обозначаване на формата на стружкочупене, вида на обработката и др.



Фиг. 1.29. Многоръбови пластини – означение по ISO 1832:2004

1.3.6. Износване и трайност на режещите инструменти

А. Същност и класификация на износването

Износването е сложно физикохимично явление, при което в резултат на молекулярно-термични процеси и механично въздействие в процеса на рязане се изменят формата и геометричните елементи на режещите инструменти. Състои се в отделяне на частици от режещата част на инструментите в резултат на силовото натоварване, топлинното въздействие и триенето по контактните повърхнини с обработвания детайл и стружката.

С увеличаване на износването на режещите инструменти нарастват силите и температурата на рязане, влошава се качеството на обработените повърхнини. Износването влияе и върху пластичното деформиране на материала. При

определено износване инструментът изгубва режещата си способност и е необходимо да се презаточи. За възстановяване на инструментите със сменяеми режещи пластини пластината се завърта, обръща или се сменя с нова.

Интензивността на износването на режещите инструменти е много по-голяма от тази на машинните елементи поради по-тежките и специфични условия на работа: относителните контактни налягания са $300 \div 400$ пъти по-големи; температурата на загряване е от 100 до 1000 °C; повърхнините на триене са с много малки размери и са силно уякчени; контактните повърхнини са свежообразувани и химически чисти (няма достатъчно време за възникване на оксидна кора).

В зависимост от физическата същност на процеса, износването е абразивно, термично, адхезионно, дифузионно, окислително, термоелектрическо и износване поради умора на материала [6, 16, 63].

Абразивното износване представлява изтриване по контактните повърхнини на инструмента със стружката и обработвания детайл. Дължи се на твърдите микровключвания в обработвания материал (цементити, силикати, сулфиди, карбиди и сложни карбиди в стоманите; цементити и фосфиди в чугуна) и на частици на наслойката, които се вбиват в контактните повърхнини на режещата част и ги надраскват. Наблюдава се предимно при режещи инструменти от инструментални стомани и в по-малка степен при инструменти от твърдосплавни материали. Преобладава при обработване на чугун с невисоки скорости и при прекъснато рязане, при което температурата е по-ниска в сравнение с тази при непрекъснато рязане.

Термично износване се наблюдава при обработване със сравнително високи скорости и температури на рязане, надвишаващи топлоустойчивостта на инструменталния материал. При тези условия настъпват структурни изменения в повърхностния слой на материала на инструмента, като се получава по-малко износоустойчива структура (например за инструменти от закалена бързорежеща стомана мартензитната структура преминава в по-малко износоустойчивите аустенит-мартензитна или троостит-мартензитна структура).

Адхезионно износване се наблюдава, когато температурата на рязане е близка до температурата на рекристализация и когато материалите на режещия инструмент и обработвания детайл са сродни (например: при обработване на топлоустойчиви стомани с режещи инструменти от металокерамични материали от група Р; при обработване на алуминий с инструменти от бяла минералокерамика и др.). То се обяснява с адхезионните явления, които протичат в контактните зони на стружката с предната повърхнина и на повърхнината на рязане със задната повърхнина на инструмента. Между неравностите на контактуващите повърхнини възникват адхезионни сили. Поради малката площ на действителния контакт, дори и при малки сили, в контактните точки се получават големи налягания. В резултат на високите налягания и температури на химически чистите повърхнини се създават условия за образуване на множество адхезионни метални връзки. При относителното преместване на триещите се повърхнини се получава непрекъснато срязване на тези връзки под действието на срязващите напрежения, при

което се отделят частици от намиращите се в контакт материали. От многократното въздействие на променливи срязващи напрежения се създава и умора в инструменталния материал, която намалява неговата якост и спомага за отделянето на частици.

Дифузионно (термодинамично) износване се получава при високи скорости на рязане, температура над $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ и големи налягания, които създават благоприятни условия за дифузия на частици от инструменталния в обработвания материал. То се дължи на увеличеното топлинно колебание на атомите в кристалната решетка, стремящо се към термодинамично равновесие в системата инструмент – обработван детайл - околна среда. В резултат на това, че в контакт с инструмента влизат все нови и нови участъци от обработвания материал, се получава интензивна дифузия, която води до интензивно износване на инструмента. Интензивността на протичане на дифузионните процеси нараства при използване на инструментални материали, които са химически активни към обработвания материал. Например при обработване на стомана и чугун с диамантени ножове инструментите губят своята работоспособност при температура $\theta > 900 \div 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ в резултат на дифузионно износване.

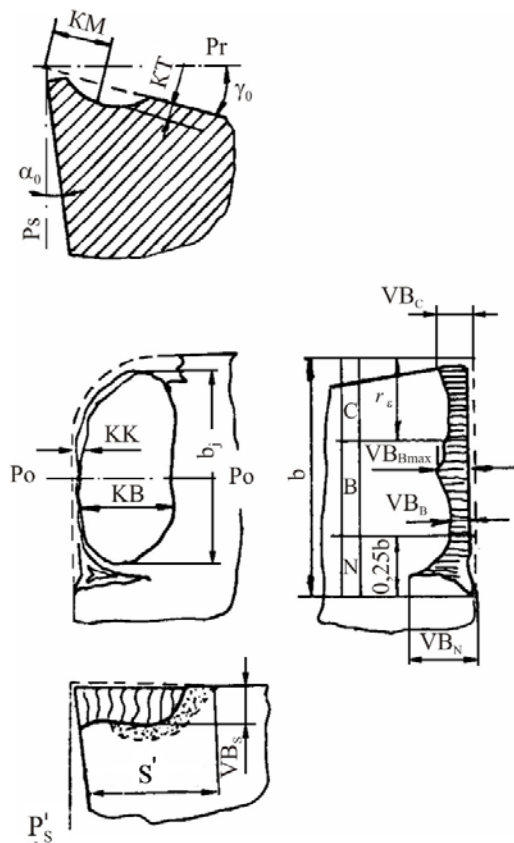
Окислително (химично) износване се получава в резултат на химична реакция между инструменталния материал и кислорода от въздуха, като при високата температура на рязане се образуват крехки оксиди на кобалта, волфрама и титана във вид на кора. Оксидната кора има по-ниска твърдост от твърдостта на твърдосплавния материал ($\approx 40 \div 60$ пъти) и се отнася от стружката. Твърдосплавните материали от група *K* се окисляват по-силно от тези от група *P*. Окислителното износване играе важна роля и при обработване с инструменти от свръхтвърди материали (например кубичният борен нитрид при високи температури се превръща в борен анхидрид B_2O_3).

Термоелектрическото износване се обяснява с пренасяне на материал от термоелектродвижещите сили, породени от разликите в електродните потенциали и температурата.

Износването поради умора на материала на инструмента се дължи на знакопроменливите контактни напрежения. Проявява се в резултат на ударно натоварване на режещите инструменти от металокерамични и минералокерамични материали, причинено от прекъснато рязане или обработване при неравномерна прибавка.

В процеса на рязане различните видове износване протичат едновременно, като винаги един или няколко вида са преобладаващи в зависимост от скоростта на рязане и съответстващата ѝ температура. Инструментите от бързорежещи стомани, които работят при ниски скорости на рязане (протяжки, зъбодълбачни колела, метчици, плашки и др.), са подложени предимно на абразивно и адхезионно износване. Инструментите от твърдосплавни материали, които работят при високи скорости на рязане, са подложени на дифузионно износване и в по-малка степен – на адхезионно и окислително износване.

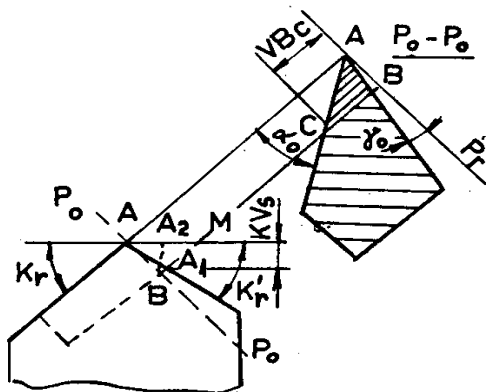
В зависимост от свойствата на обработвания материал, елементите на режима на рязане и геометричните елементи на режещите инструменти износването се проявява по предната повърхнина, по задната повърхнина или



Фиг. 1.30. Износване на режещия клин на инструмента

ната на площадката на износването по задната повърхнина са VB_B , VB_{Bmax} , VB_C , VB_N . Износването по спомагателната задна повърхнина се означава с VB_s .

Износване по предната повърхнина се получава при рязане на пластични материали, когато скоростта на рязане и дебелината на срязвания слой са големи. Този вид износване е характерен за инструментите от твърдосплавни материали и е във вид на падинка, приблизително успоредна на главния режещ ръб. Размерите, които характеризират големината и положението на падинката по предната повърхнина, са: KT (максимална дълбочина), KB (широчина), KK и KM (разстояние от началото на режещия ръб до началото на падинката и до мястото с най-голяма дълбочина).



Фиг. 1.31. Размерно износване на инструмента

едновременно по предната и задната повърхнина на режещата част. Външният вид на износването (местоположение, форма и размери) се определя от разпределението на работата на триене по задната и предната повърхнина на инструмента, а следователно от съотношението на температурите на тези повърхнини. Различните видове износване на режещата част се характеризират с линейни размери, които са стандартизирани (ISO 3685, ISO 8688) (фиг. 1.30).

Износване по задната повърхнина се получава при рязане на крехки материали в широк интервал на изменение на елементите на режима на рязане и на пластични материали с относително ниски скорости на рязане и малки дебелини на срязвания слой. Характерно е за инструменти с малки задни и големи предни ъгли. Износването по задната повърхнина е във вид на площадка със заден ъгъл $\alpha_0 = 0^\circ$. Размерите на широчината на площадката на износването по задната повърхнина са VB_B , VB_{Bmax} , VB_C , VB_N . Износването по спомагателната задна повърхнина се означава с VB_s .

Износване едновременно по предната и задната повърхнина се получава при обработване на пластични материали със средни скорости и дебелини на срязвания слой. Дължи се на голямата работа на триене и на големите сили и температури на рязане по контактните повърхнини A_γ и A_α на инструмента.

Размерно износване (Фиг. 1.31) е износването, измерено в направление, перпендикулярно на обработената повърхнина. Неговата големина оказва влияние върху точността на

размера на обработената повърхнина, поради което се нарича размерно износване. Между размерното износване KV_s и износването по задната повърхнина VB_C съществува аналитична зависимост, която е изведена при условие, че радиусът при върха $r_\varepsilon = 0\text{ mm}$ и износването $VB_s = 0\text{ mm}$ [16]:

$$KV_s = \frac{VB_C \cdot \operatorname{tg} \alpha_o}{(\cot g \kappa'_r + \cot g \kappa_r) \sin \kappa_r}. \quad (1.49)$$

Б. Фактори, влияещи върху износването на режещите инструменти

Големината и характерът на износването на режещите инструменти зависят от физико-механичните свойства на обработвания и инструменталния материал, геометричните елементи на инструмента, времето на работа и елементите на режима на рязане.

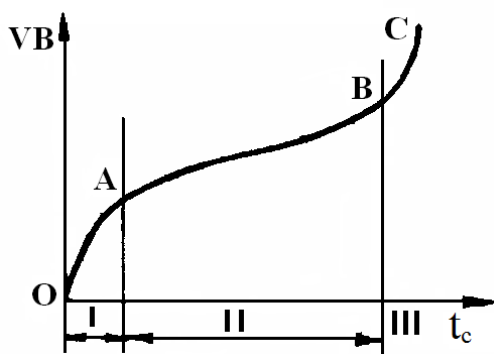
Тази зависимост се изразява със следната обобщена формула [6, 55]:

$$VB = C_{VB} t_c^{m_{VB}} V_c^{n_{VB}} f^{y_{VB}} a^{x_{VB}} K_{VB}, \text{ mm}, \quad (1.50)$$

където: C_{VB} - коефициент, който зависи от свойствата на обработвания и инструменталния материал; K_{VB} - корекционен коефициент, отчитащ влиянието на фактори, невключени в зависимост (1.50) (например геометрични елементи на режещия инструмент); x_{VB} , y_{VB} , n_{VB} , m_{VB} - степенни показатели, отразяващи влиянието на дълбочината на рязане, подаването, скоростта на рязане и времето на работа.

✓ Изменение на износването в зависимост от времето на работа

Характерът на изменение на износването по предната и задната повърхнина на инструмента с нарастване на времето на работа е еднакъв и се илюстрира с диаграмата, показана на Фиг. 1.32.



Фиг. 1.32. Зависимост на износването VB от времето на работа t_c

Кривата на износване има три участъка с различна интензивност:

- *период на сработване* (I участък) – износването протича със сравнително голяма интензивност, дължаща се на голямата стойност на задния ъгъл, облекчаваща отделянето на частици от повърхнината на острозаточения инструмент, и на относително големите нормални и тангенциални напрежения поради малкия контакт върху задната повърхнина;
- *период на нормално износване* (II участък) – износването нараства с малка интензивност, приблизително линейно във времето, тъй като с увеличаване на VB намалява големината на налягането и се повишава незначително силата на триене (това е най-продължителният период);
- *катастрофално износване* (III участък - след точка B) – износването протича с голяма интензивност, т.к. триенето и температурата рязко нарастват (това износване е недопустимо при нормална работа на инструмента).

Изменението на износването на инструмента по предната повърхнина в

процеса на рязане протича по аналогичен начин - дълбочината KT и широчината KV на падинката постепенно нарастват, разстоянието KK непрекъснато намалява и при $KK \approx 0$ настъпва катастрофално износване.

✓ *Влияние на елементите на режима на рязане*

Най-голямо влияние върху износването оказва скоростта на рязане, следвана от подаването, а влиянието на дълбочината на рязане е пренебрежимо малко. Това е свързано с влиянието на елементите на режима на рязане върху температурата на рязане.

С изменение на скоростта на рязане се създават благоприятни условия за протичане на един или друг вид износване. При малки скорости на рязане се получават предимно абразивно и адхезионно износване, а при високи скорости – термично, дифузионно и окислително. Това определя сложен характер на изменение на общото износване в зависимост от скоростта на рязане.

С увеличаване на подаването и на дълбочината на рязане износването нараства неравномерно така, както нараства и температурата на рязане.

✓ *Влияние на физико-механичните свойства на обработвания и инструменталния материал*

Износването на режещите инструменти зависи от физико-механичните свойства и на обработвания, и на инструменталния материал, което е свързано с влиянието им върху температурата на рязане.

От правилния избор на инструментален материал в най-голяма степен зависи износването на инструмента. Материалът на режещия инструмент се подбира в зависимост от неговата износоустойчивост - способността на инструменталния материал да оказва съпротивление срещу износване, като запазва продължително време геометрията на режещата част на инструмента.

В. Критерии на износване

Критерий на износване е максимално допустимата стойност на износването VB или KT , при достигане на която инструментът се смята за износен и негоден за следваща работа. Стойността на критерия на износване (VB_k или KT_k) съответства на ординатата на точка B от кривата на износване (Фиг. 1.32) или има по-ниска стойност.

Стойността на критерия на износване зависи от вида на обработвания и инструменталния материал, вида и геометрията на режещия инструмент, условията на работа, вида на технологичната операция и вида на обработването. При чисто обработване, при по-леки условия на работа и обработване на стомана критерият на износване е по-малък от този при грубо обработване, при по-тежки условия на работа и обработване на чугун (например $VB_k = 1,5 \div 2 \text{ mm}$ при грубо струговане на стомана и $VB_k = 2 \div 3 \text{ mm}$ при обработване на чугун [6, 51]). Инструментите от металокерамична твърда сплав имат по-малък критерий на износване в сравнение с инструментите от бързорежеща стомана. Стойността на VB_k е по-малка и когато инструментът има по-сложна конфигурация или по-трудно се изработва.

Критериите на износване в зависимост от начина на определяне и условията на обработване са:

- ✓ *Силов критерий* - нарастване на силите на рязане над определена стойност, изразена в проценти (например при струговане силовият критерий е нарастване на главната сила на рязане F_c с 25%, на подавателната сила F_f - със 150% и на нормалната сила F_p - с 250%); използва се за управление на процеса на рязане при грубо и чисто обработване и в автоматизираното производство.
- ✓ *Критерий на лъскав пояс и тъмни петна* – съответства на катастрофално износване; при обработване на стомана върху повърхнината на рязане се появява лъскав пояс от силно деформирани метални частици, а при обработване на чугун – тъмни петна от размазани графитни зърна; критерият е субективен и се използва при грубо обработване с инструменти от бързорежеща стомана.
- ✓ *Критерий на оптимално износване (оптимален критерий)* – съответства на оптимална стойност на износването, която осигурява най-голяма обща трайност на инструмента: $T_o = (k + 1)T$ (k - брой презаточвания на инструмента по предната или по задната повърхнина); прилага се за инструменти от бързорежеща стомана, при грубо обработване и в автоматизираното производство.
- ✓ *Критерий на технологично износване (технологичен критерий)* – съответства на допустима стойност на износването, която осигурява изискванията за точност и грапавост на обработената повърхнина; прилага се при чисто обработване и особено при размерообразуващи инструменти, предназначени за окончателно обработване или работещи в автоматизираното производство.

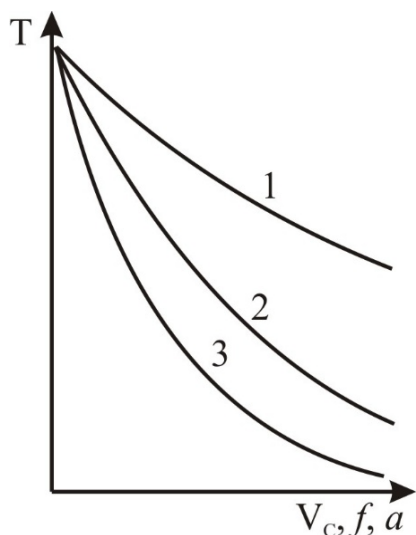
Г. Трайност на режещия инструмент и скорост на рязане

Производителността и себестойността на механичното обработване в голяма степен се определят от трайността на инструментите. С нея се изразяват режещата способност на инструмента и икономическата ефективност на обработването при дадени работни условия.

Трайност T на един инструмент е времето за активна работа в $\min$ до достигане на критерия на износване (VB_k или KT_k). Това е времето, през което инструментът запазва без съществени изменения режещите си качества и се получават технологично удовлетворителни резултати (грапавост на обработената повърхнина, сила на рязане, амплитуда на трептенията и др.), или полезният фонд от време между две презаточвания. Трайността може да се изрази и чрез производните на времето – изминат път от инструмента по обработваната повърхнина, брой на обработените повърхнини или детайли, обем на снетия материал.

Трайността на режещия инструмент е пряко свързана с износването. Колкото по-голяма е интензивността на износването, толкова трайността е по-малка.

Трайността на инструментите зависи от елементите на режима на рязане, свойствата на обработвания и инструменталния материал, геометричните елементи на инструмента, СОТ, състоянието на машината и др.



Фиг. 1.33. Зависимост на трайността от дълбочината на рязане (1), подаването (2) и скоростта на рязане (3)

Най-силно влияние върху трайността на инструментите оказва скоростта на рязане (Фиг. 1.33). Зависимостта между трайността на инструмента и скоростта на рязане $T = f(V_c)$ се изразява с уравненията:

$$T = \frac{C_T}{V_c^{m_T}}; \quad V_c = \frac{C_V}{T^m}, \quad (1.51)$$

където: $m = \frac{1}{m_T}$ и $C_V = C_T^m$.

Константата C_V и степенният показател m (показател на относителната трайност), съответно константата C_T и степенният показател m_T зависят от свойствата на обработвания и инструменталния материал, елементите на режима на рязане,

геометричните елементи на режещия инструмент и други фактори. Показателят m зависи и от приетия критерий на износване. Приблизителните стойности на m са: $0,12 \div 0,2$ - за инструменти от бързорежеща стомана; $0,2 \div 0,3$ - за инструменти от твърдосплавни материали; $0,3 \div 0,6$ - за инструменти от твърдосплавни материали с износоустойчиви покрития; $0,4 \div 0,5$ - за инструменти от минералокерамика [6].

Зависимостите (1.51) са общовалидни за всички процеси на рязане, за грубо и чисто обработване, за всички обработвани материали и използвани режещи инструменти. Те са известни като *основен закон в рязането на материалите*.

Зависимостите за трайността на инструмента от елементите на срязвания слой са аналогични на зависимостта $T = f(V_c)$. Увеличаването на подаването f и на дълбочината на рязане a предизвиква намаляване на трайността. Тези изменения се описват със зависимостите (Фиг. 1.33):

$$T = \frac{C_T'}{f^{y_T}}, \quad T = \frac{C_T''}{a^{x_T}}, \quad (1.52)$$

където: y_T и x_T са степенни показатели, отразяващи степента на влияние на f и a върху трайността на инструмента.

Зависимости (1.51) и (1.52) са частни и се използват за комплексното изразяване на трайността на инструмента с формулата:

$$T = \frac{C_T}{V_c^{m_T} f^{y_T} a^{x_T}}, \text{ min.} \quad (1.53)$$

В общата трайностна зависимост могат да участват равностойно и други независими фактори, характерни за даден процес на рязане, например при свредловане – диаметърът на свредлото D , при фрезоване – диаметърът на фрезата D , широчината на фрезоване e , броят на зъбите на фрезата z и т.н.

2.1. МЕТАЛОРЕЖЕЩИ МАШИНИ - КЛАСИФИКАЦИЯ, ОЗНАЧЕНИЕ, ИЗИСКВАНИЯ И ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИЕТО

2.1.1. Класификация и означение на металорежещите машини

Металорежещите машини са основно оборудване в машиностроителните фирми. Голямото многообразие от форми и размери на детайлите, както и на операциите, изпълнявани за механичното им обработване, определя разнообразието на металорежещи машини, като видове, типове и габарити.

Металорежещите машини се класифицират по следните основни признаци [7, 44, 49]:

- *вид на процеса на стружкоотнемане (метод на обработване)* - стругови, пробивни, пробивно-разстъргващи, фрезови, стъргателни, протеглящи, резбообработващи, зъбообработващи, шлифовъчни, хонинговъчни, притриващи, заточващи, отрязващи и др. машини (този признак определя вида на машината и нейното общо предназначение);

- *вид на главното движение* – машини с въртливо главно движение (стругови, фрезови, пробивни, шлифовъчни и др.) и машини с праволинейно главно движение (стъргателни, дълбачни и протеглящи);

- *степен на специализация* – универсални машини, с големи технологични възможности и предназначени за обработване на широка номенклатура от детайли (универсални стругове, универсални фрези и др.); специализирани машини, предназначени за обработване на детайли с по-малка номенклатура, които са сходни по конфигурация, но се различават по размери (резбообработващи, зъбообработващи и др.); специални машини – използват се за обработване на еднакви по форма и размери детайли;

- *точност* – машини с нормална точност (*I* клас), с повишена точност (*II* клас), с висока точност (*III* клас), с особено висока точност (*IV* клас) и особено точни машини (*V* клас);

- *степен на автоматизация* – машини с ръчно управление (всички действия, свързани с управлението им, поставянето на обработвания детайл и свалянето на готовия детайл, се извършват ръчно от работника); полуавтомати (обработването се осъществява автоматично от машината, но повтарянето на работния цикъл се извършва след ръчна намеса на работника); автомати (обработването и повтарянето на работния цикъл се извършват автоматично от машината, докато е заредена с материал, а работникът се намесва в управлението ѝ ръчно само при пускането и спирането ѝ);

- *маса на машината* – леки (до 1 t), средни (до 10 t) и тежки (над 10 t);

- *брой на работните органи (вретена)* – едновретенни и многовретенни;

- *разположение на основния работен орган (вретеното) в пространството* – вертикални и хоризонтални.

За означаване на металорежещите машини се използват:

- буквено-цифрови означения – съдържат информация за вида на машината и специалното ѝ предназначение, за някои от основните ѝ експлоатационни параметри и поредния номер на модела (например: *CV401* - струг универсален с максимален диаметър на обработвания детайл над направляващите *400 mm*, първи модел; *FU321* – фрезова машина универсална с широчина на масата *320 mm*, първи модел); металорежещите машини, конструирани и влезли в производство преди създаването на системата за означаването им, са означени с буква, показваща вида на машината, и цифра, изразяваща поредния номер на разработката (например *C11* - струг универсален с пореден номер на разработване *11*);
- търговски наименования – например „Перун“, „Хемус“, Mazak, Haas и др.

2.1.2. Изисквания и тенденции в развитието на металорежещите машини

Съвременните металорежещи машини трябва да отговарят на високи изисквания, свързани с работната им точност, производителност, надеждност, енергопоглъщаемост и др.

Работната точност на металорежещите машини зависи от качеството на изработване и условията за поддържане и ремонт. Тя може да се постигне чрез осигуряване на плавност на работните движения, точност на позиционирането, стабилно силово и топлинно поведение на машината през време на работа, намалено триене и износване и др. Високата работна точност е предпоставка за постигане на желаните размери и на макро- и микрогеометрия на детайлите, като за съвременните машини тя е в границите от $1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-6} \text{ mm}$ [49].

Производителността на машините се оценява с количеството детайли, произведени за единица време. Тя може да се повиши чрез намаляване на основното и спомагателните времена. Основното време се намалява чрез избиране на по-интензивен режим на рязане (по-висока скорост, по-голяма дълбочина на рязане и по-голямо подаване). Спомагателните времена (време за смяна на готовия детайл с нов обработван детайл, време за смяна, настройване и поднастройване на инструментите и др.) се намаляват чрез механизизиране и автоматизиране на съответните движения и припокриването им с основното време.

Надеждността на машините е комплексно свойство, което включва свойствата безотказност, трайност, съхраняемост и ремонтпригодност. Означава, че машината може да изпълнява предписаните ѝ функции в течение на времето в съответствие със зададените режими на работа и при спазване на условията за поддържане и ремонт. Количествено се измерва с вероятността за безотказна работа в определен срок, изразен най-често в работни часове.

Изискванията към енергопоглъщаемостта на една металорежеща машина се свеждат до това разходът на енергия, отнесен към нейната производителност, да е минимален.

Съвременното развитие на металорежещите машини е в следните основни направления [25, 37, 49, 59, 74]:

- създаване на металорежещи машини за високоскоростно рязане, осигуряващи интензифициране на процеса на рязане чрез увеличаване на скоростите на работните движения при използване на инструменти от нови инструментални материали (честотите на въртене на вретената достигат до стойности

$n_c = 40000 \div 60000 \text{ min}^{-1}$, а скоростите на подавателните движения – до $V_f = 60 \div 80 \text{ m/min}$);

- увеличаване на броя на машините, работещи без използване на смазочно-охлаждащи течности (рязане „на сухо“) – прогнозата е, че 95% от обработващите центри за ротационно-симетрични и призматично-корпусни детайли, 85% от фрезовите машини и основната част от струговите машини ще работят „на сухо“; не се предвижда сухо рязане само при шлифовъчните машини;

- повишаване на степента на автоматизация чрез различни устройства за хранване с обработвани детайли и инструменти, както и чрез нови системи за управление;

- изграждане на мултифункционални машини, които позволяват изпълнение на широк спектър от технологични операции – по този начин се създават условия за повишаване на точността и производителността (спестяват се дейностите за прехвърляне и установяване на детайлите последователно върху различни машини), намаляване на цената на обработването и на инсталационната площ, както и за пълноценно използване на работното оборудване особено в малките производствени фирми с ограничен персонал;

- създаване на машини за микрорязане, предназначени за реализация на микротехнологии (обработване на детайли с размери от порядъка на десети от милиметъра с микрометрична точност и грапавост в нанометричната област ($Ra=1 \div 5 \text{ nm}$)).

- усъвършенстване на конструкциите на машините чрез използване на нови задвижвания (директни преводи с мотор-вретена, високомоментни или линейни електромотори), модерни елементи и възли (сачмено-винтови предавки, търкалящи направляващи, магнитни лагери и направляващи и др.), мехатронни модули и др. – по този начин се осигуряват повишаване на точността, надеждността, производителността и срокът на използване на машината;

- по-широко използване на неметални материали (полимербетон, полимерни композити с влакнеста структура, различни пластмаси, керамика, пеноалуминий и др.) с цел постигане на по-добри експлоатационни параметри (намалено триене и износване, по-малки силови и топлинни деформации и др.);

- съчетаване на конвенционални методи на рязане (чрез стружкоотнемане) с електрофизични методи върху една машина (пример за такова съчетаване е машината за лазерно рязане на фирма Mazak, която е с лазерна глава и с вретенна глава за нарязване на резба с метчик);

- вграждане на системи за контрол и диагностика – специални сензори следят параметри на процеса, машината, инструментите и екипировката (трептения на конструкцията, износване на инструмента, температура в характерни точки, натоварване в определени области и др.), като според избраната стратегия предизвикват автоматична компенсация на грешките чрез ЦПУ, подават сигнал към обслужващия персонал или спират процеса;

- прилагане на модулен принцип при изграждане на металорежещите машини, което води до поевтиняване на конструкциите, съкращаване на срока за проектиране и изработване на нова машина, повишаване на надеждността и

подобряване на ремонтпригодността на машините;

- осигуряване на екологичност и ергономичност на конструкциите, безопасност при работа и лесно обслужване.

2.2. ДВИЖЕНИЯ НА МЕТАЛОРЕЖЕЩИТЕ МАШИНИ И ФОРМООБРАЗУВАНЕ

2.2.1. Видове движения на металоурежещите машини

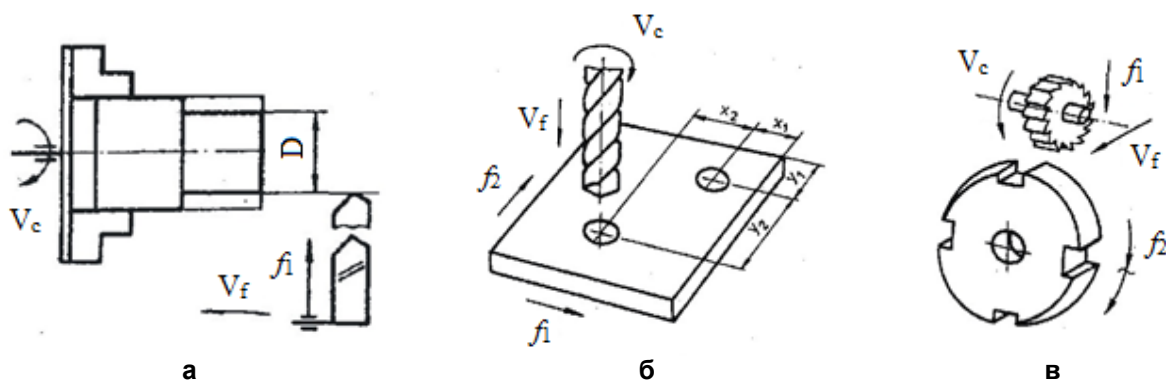
Движенията, които се извършват на металоурежещите машини, се класифицират по своето функционално предназначение на *работни, установъчни и движения за обслужване*.

Работни движения са движенията, които се изпълняват през време на работа и служат за изпълнение на процесите на формо- и размерообразуване. Те биват два вида (Фиг. 2.1):

- главно движение със скорост V_c , което извършва рязането;
- подавателни движения (едно или няколко) със скорост V_f , които поддържат процеса на рязане, като осигуряват снемането на нови обеми материал от обработвания детайл.

Работните движения са:

- прости (праволинейни или кръгови) и сложни (получават се от съчетанието на две или повече прости движения) в зависимост от тяхната траектория;
- непрекъснати и прекъснати по отношение на извършването им по време;
- равномерни и неравномерни в зависимост от скоростта им;
- независими и съгласувани по отношение на подчинеността им едно спрямо друго.



Фиг. 2.1. Работни и установъчни движения

Установъчни движения са движенията, които предхождат или следват работните движения. Те определят взаимното разположение на инструмента и обработвания детайл.

В зависимост от своето предназначение установъчните движения са:

- движения, определящи размерите на обработените повърхнини (движение f_1 на Фиг. 2.1 а, в);
- движения, определящи взаимното разположение на повърхнините (движения за позициониране на инструмента спрямо детайла - f_1 и f_2 на Фиг. 2.1 б и движение за делене f_2 на Фиг. 2.1 в).

Движения за обслужване на металоурежещите машини са всички неформообразуващи движения, обобщени в следните две групи:

- спомагателни движения - движения за закрепване на обработвания и освобождаване на обработения детайл, ориентирание и транспортиране на детайлите и инструментите, установяване и снемане на инструмента, контролиране на размерите на детайла, отстраняване и транспортиране на стружките и т.н.

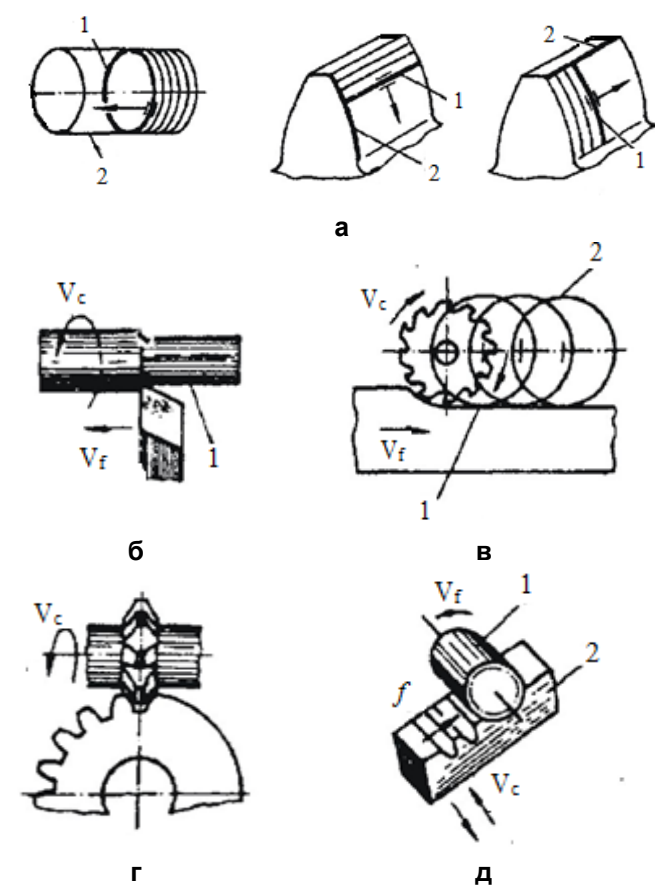
- движения за управление - тези движения регулират процеса на формообразуване както в пространството, така и по време; чрез тях се задействат ръкохватки, бутони, съединители, упори, фиксатори, реверсиращи устройства, ограничители на хода и др.

2.2.2. Формообразуване

Повърхнините на детайлите се получават в процеса на обработване чрез съчетаване на въртеливи и праволинейни движения на режещия инструмент и обработвания детайл. *Процесът на целенасоченото съчетаване на различни движения на обработвания детайл и инструмента за получаване на желаната форма на детайла се нарича формообразуване.*

За формообразуването са необходими една образуваща 1 и една направляваща 2 права или крива линия (Фиг. 2.2 а), които се движат по определен начин в пространството. Произвеждащите линии (образуваща или направляваща) могат да сменят функциите си. В тези случаи те се наричат „обратими“.

Произвеждащите линии могат да се получат по четири метода:



Фиг. 2.2. Формообразуване

- *метод на следата* – образуващата линия 1 се получава като следа от движението на върха на инструмента, разглеждан като материална точка (Фиг. 2.2 б);

- *метод на допирането* – образуващата линия 1 се получава като допирателна към последователността от геометрични линии, образувани при движението на режещите ръбове на инструмента (Фиг. 2.2 в);

- *метод на копирането* – образуващата линия е копие на режещия ръб на инструмента, разглеждан като материална линия (Фиг. 2.2 г);

- *метод на обхождането* (отъркаването) - образуващата линия се получава като обвиваща на последователните положения на режещите ръбове на инструмента в резултат на неговите движения спрямо детайла (Фиг. 2.3 д).

2.3. ОСНОВНИ ВЪЗЛИ НА МЕТАЛОРЕЖЕЩИТЕ МАШИНИ

Металорежещата машина е технологична система, чиято основна функция е свързана с изменение на формата и размерите на даден обработван детайл до получаване на детайл с определена форма, размери и технически изисквания, които се задават в работния чертеж.

Всяка металорежеща машина е изградена от няколко основни сглобени единици (възли) - главен превод, подавателен превод, превод за позициониране и носеща система (Фиг. 2.3). Освен посочените основни възли съвременните металорежещи машини имат устройства за управление, за контрол и измерване и за манипулиране.

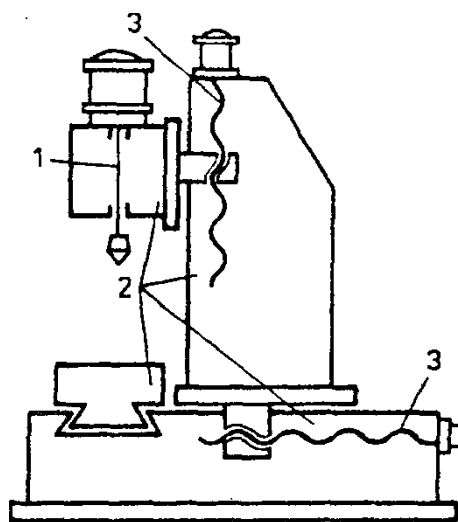
2.3.1. Преводи – видове, структура и задвижване

Преводът за осъществяване на определен вид движение представлява съвкупност от двигател (мотор), предавателен механизъм и механизми за управление. В зависимост от вида на работните движения преводите са главни и подавателни, в зависимост от траекторията на движенията – за въртеливо и праволинейно движение, според начина на регулиране на скоростта – нерегулируеми, със степенно и безстепенно регулиране, според структурата – с проста и със сложна (множителна и сумирана) структура.

Главният превод задвижва с определена скорост обработвания детайл или инструмента, за да се реализира процесът на рязане. При повечето металорежещи машини главният превод предава въртеливо движение на крайното звено – вретеното 1, на което е закрепен или режещият инструмент, или обработваният детайл (Фиг. 2.3).

Подавателният превод осъществява преместването на инструмента или на обработвания детайл, за да се придаде определена форма на обработения детайл. За металорежещата машина, представена на Фиг. 2.3, подавателните движения се реализират чрез винтовете 3, които преместват възлите 2.

Тъй като подаванията обикновено са повече от едно на брой, трябва да има и съответният брой подавателни преводи. На този принцип са изградени



Фиг. 2.3. Основни възли на металорежеща машина

различни видове металорежещи машини (стругове с програмно управление, каруселни стругове, надлъжно-стъргателни машини, надлъжно-фрезови машини и др.), които имат обособени по няколко подавателни превода.

При някои, предимно универсални металорежещи машини (универсални стругове и фрези, пробивно-разстъргващи машини), различните подавания се получават от един общ превод, в който след звеното за регулиране на скоростта е монтиран разпределителен механизъм. Той насочва движението към отделните изпълнителни звена за реализиране на съответното подаване.

При зъбо- и резбообработващите машини, към подавателните движения на които се поста-

вят изисквания за висока кинематична точност, подавателните преводи са изградени като отделни кинематични вериги, наречени вериги за точна кинематична връзка. Някои от тези вериги са независими, други могат да имат общо начало, след което се разклоняват. В трети случаи веригите могат да са паралелни и да се събират чрез сумиращи механизми.

Преводът за позициониране служи за преместване на определен възел от изходна до зададена позиция, например при последователното обработване на няколко отвора или на няколко успоредни повърхнини на един и същ обработван детайл. При металорежещите машини с ЦПУ функциите за подаване и позициониране се изпълняват от един и същ превод.

- ***Задвижване***

Задвижването на металорежещите машини се осъществява от електрически, хидравлични или пневматични двигатели. При машините с малки габарити се прилага едnodвигателно задвижване, а при големите и уникалните машини – многодвигателно (с 10 и повече двигатели). Задвижването на машините може да се осъществи с двигатели от един вид (електродвигатели) или като се комбинират няколко вида двигатели (електродвигатели и хидромотори).

Най-широко е разпространено задвижването с електродвигатели от различен тип, тъй като имат малки габарити при сравнително голяма мощност и директно преобразуват електрическата енергия в механично движение.

Хидравлично задвижване при металорежещите машини се използва за осъществяване на главно движение (например при протеглящи и стъргателни машини), на подавателно движение (например при шлифовъчни машини), както и за извършване на спомагателни действия (затягане на обработвани детайли, управление на преводи и др.). Пневматично задвижване се прилага за задвижване на приспособления и за изпълнение на спомагателни действия.

- ***Предавателни механизми***

В преводите на металорежещите машини се използват най-много механични предавателни механизми за пренасяне на въртеливо движение и за неговото преобразуване в периодично, праволинейно-постъпателно или праволинейно възвратно-постъпателно движение. Те са изградени от ремъчни и зъбни предавки, вариатори, различни видове съединители, винтови предавки с плъзгане, остроозъби, малтийски и кулисни механизми и др. Тези елементи се групират в групи със строго определено предназначение в превода (да разширят обхвата на регулиране на честотите или подаванията, да обърнат посоката на въртене и др.). Групите се свързват последователно или последователно-паралелно, като образуват по-прости или по-сложни конструктивни структури с по-малки или по-големи кинематични възможности на работните органи. В предавателните механизми се използват групи от предавки с постоянно или с променящо се предавателно отношение.

Постоянно предавателно отношение имат ремъчните предавки с клинови или плоски ремъци, единичните зъбни предавки – цилиндрични, конусни или червячни, верижните предавки и др. Те имат задача да пренесат и редуцират движението. Предавателното им отношение се изразява като отношение между

броя на зъбите (диаметрите) на водещото и водимото колело (шайбите).

Групите с променливо предавателно отношение се изграждат от две, три или повече ремъчни или зъбни предавки, които могат да се превключват. Така се създава възможност движението от водещия вал с постоянна честота на въртене да се предава на друг вал чрез предавки с различни предавателни отношения.

Освен с придвижни зъбни блокове, подобни групи могат да се образуват от зъбни колела, зацепени постоянно, като включването им към даден вал се осъществява чрез зъбни или многодискови триещи съединители с ръчно или електромагнитно управление.

Описаните групи се използват при изграждане на всички по-сложни степенни (главни и подавателни) преводи на металорежещите машини. В подавателните преводи са намерили приложение няколко специфични механизма – нортонов, меандров и с преместваща се шпонка.

В металорежещите машини се използват и преводи с безстепенно регулиране, което се постига чрез специален механизъм – вариатор, получава се от електромотори (постояннотокови или асинхронни честотно регулируеми мотори, високомоментни или стъпкови електромотори, при които по електрически път може да се променя честота на въртене на ротора) или се изгражда на хидравличен принцип.

- ***Преводи на металорежещи машини с ЦПУ***

Металорежещите машини с ЦПУ структурно се изграждат от отделни възли със самостоятелно задвижване. Прилагат се прости решения с къси кинематични вериги и широки диапазони на изменение на параметрите, възможности за което създава съвременното развитие на системите за задвижване. Използват се предимно решения с последователни структури, но редица производители развиват все по-успешно и паралелни структури [25, 42, 86].

В металорежещите машини с ЦПУ сложните кинематични вериги за предаване на главното въртливо движение на вретеното, характерни за машините с ръчно управление, са заменени от опростени вериги, които позволяват автоматично превключване на степените или плавно изменение на честотата на въртене на вретеното. Известни са различни варианти на задвижване на главните преводи [25, 42, 86]:

- *Главен превод с еднокоростен асинхронен двигател и автоматична скоростна кутия (АКС)* – при него по команда от системата за ЦПУ се включват електромагнитни съединители и се постигат различни дискретни честоти на въртене на изходящия вал на АКС. Тези честоти се умножават допълнително от предавателната кутия. Използването на автоматични скоростни кутии продължава сравнително дълго време, тъй като са били единствената алтернатива за повишаване на степента на автоматизация. Същевременно те имат и редица недостатъци - големи габарити, енергоемкост, топлоотделяне, сложност, висока цена, ограничен брой на степените, ниска надеждност. Допълнително и съществено неудобство е, че предавателната кутия изисква ръчно управление.

- *Главни преводи с постояннотокови двигатели* – при тях отпада

необходимостта от АКС, честотата на въртене на вретено се изменя плавно, а посоката на въртене се реверсира.

- *Главни преводи с асинхронни честотно-регулируеми двигатели* - преводът представлява двигател - ремъчна предавка - вретено, двигател - вретено или интегрирани двигател и вретено, при което вретено изпълнява ролята на ротор.

При съвременните машини с ЦПУ подавателните преводи се изграждат по принцип от отделни кинематични вериги, всяка със собствено задвижване [25, 42, 86]. В случаите, когато е необходимо съгласуване на различни движения, точната кинематична връзка се осъществява най-често по електрически път.

Скоростта на движение на супортите на металорежещите машини с ЦПУ се изменя и реверсира единствено чрез изменение на честотата на въртене на ротора на електродвигателя. Първоначално двигателите са били стъпкови - ъгълът на завъртане на ротора се е постигал чрез отработване на определено количество ъглови стъпки. Прекъснатостта на движението се е отразявала негативно на точността и е повишавала грапавостта на обработената повърхнина. Повечето стъпкови двигатели не са имали необходимия въртящ момент, за да осигурят устойчива работа при малки скорости на подавателното движение и големи подавателни сили. Затова между тях и винта за подавателното движение са се установявали хидроусилвател на момента и редуцираща зъбна предавка. Впоследствие стъпковите двигатели се заменят с високомоментни постоянно-токови двигатели, които позволяват плавна работа и директно свързване към сачмено-винтова двойка. Днес постоянно-токовите двигатели изцяло са отстъпили място на асинхронните честотноуправляеми двигатели, характеризиращи се с по-малки габарити и маса, по-високи скоростни възможности и по-голяма надеждност. В последните години се очертава нова тенденция за генерално изменение на концепцията на превода – сачмено-винтовата двойка и двигателят с ротационно движение се отстраняват, а на тяхно място е единствено линейният двигател, вграден в самия подвижен орган [86].

2.3.2. Носеща система

Носещата система осигурява правилното взаимно разположение на режещия инструмент и обработвания детайл при въздействие на силови и температурни фактори. Тя се състои от свързани помежду си основни детайли (тела, крака, основни плочи, стойки, напречни греди, хоботи, конзоли, корпуси на седлата, скоростни и подавателни кутии, планшайби, направляващи и др.). Свързването може да бъде неподвижно или подвижно.

2.3.3. Работни органи

Работните органи (вретено, надлъжни и напречни супорти, въртящи и невъртящи вретенни глави, въртящи и неподвижни маси) служат за закрепване на инструментите и заготовките и извършват работните движения. Вретено е този вал на металорежещата машина, който непосредствено предава на инструмента или обработвания детайл въртеливо движение. Вретеният възел е един от най-отговорните възли на металорежещите машини и към него се предявяват високи изисквания за стабилност, износостойчивост и виброустойчивост.

2.3.4. Устройства за управление, контрол и измерване

Чрез устройствата за управление се управляват честота на въртене и подаването, броят на двойните ходове, включването и изключването на въртенето на вретеното, на подаването или на някое спомагателно движение, установяването на работните органи в определено положение и др. Те могат да бъдат с ръчно обслужване от оператор или с автоматично управление (механично или с ЦПУ).

Ръчното управление се реализира чрез външни органи (дръжки, лостове, кръгли или многостенни ръкохватки, бутони и др.), разположени на лицевите части на кутиите на преводите, и вътрешни органи (лостове, кулиси, плоски и пространствени гърбици, вилки и др.), които непосредствено преместват елементите на механизмите.

Автоматичното управление се извършва от електромагнитни съединители, хидравлични или пневматични цилиндри, електромагнитни и електромеханични задвижващи устройства. Управлението се осъществява по електрически път от команди, подавани от ограничители, пътни превключватели, гърбици, командни апарати и други устройства или от системата за програмно управление на металорежещата машина.

С *контролно-измервателните устройства* се следи състоянието на най-отговорните части на металорежещата машина, износването на режещия инструмент, размерите и формата на обработвания детайл и т.н. При металорежещи машини с голяма степен на автоматизация резултатите от контролно-измервателните устройства постъпват в управляващо устройство, откъдето чрез управляващи сигнали се коригират елементите на режима на рязане.

Устройствата за манипулиране са необходими за автоматизация на различни спомагателни движения на металорежещата машина (смяна на режещите инструменти, установяване, затягане или завъртане на обработваните детайли, отстраняване на стружките и т.н.). Съвременните многооперационни машини (обработващи центри) имат набор от автооператори, транспортъори, манипулатори с програмно управление (промишлени роботи).

2.4. МЕТАЛОРЕЖЕЩИ МАШИНИ С ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ

2.4.1. Класификация и области на приложение на металорежещите машини с програмно управление

Металорежещите машини с ЦПУ могат да се класифицират по следните основни признаци:

- ✓ *Според формата и вида на обработваните детайли:* машини за обработване на ротационни детайли; машини за обработване на призматично-корпусни детайли и плоски заготовки; машини за обработване на детайли със смесени повърхнини.
- ✓ *Според броя на осите, по които се дефинира обработването на детайлите (броя на управляемите координати) – 2-, 2,5-, 3-, 4- и 5-координатни машини.* Много машини, в своята базова компоновка, извършват 3-осова обработка (обикновено обработването на детайлите се дефинира по три взаимно перпендикулярни оси X, Y, Z). Благодарение на

заложените гъвкави опции за модификация, те могат да бъдат адаптирани за 4- и 5-осова обработка. При 4- и 5-координатните машини различните работни органи имат свои допълнителни оси на преместване.

- ✓ *Според броя на изпълняваните методи за обработване:* еднофункционални машини – за един вид обработка (стругове с програмно управление; фрези с програмно управление, шлифовъчни машини с програмно управление); многофункционални машини (обработващи центри) - за много видове обработки.

Под многофункционална (многооперационна) металоурежеща машина се разбира пробивно-фрезова-разстъргваща металоурежеща машина, автоматично изпълняваща комплексна, позиционна и контурна обработка на детайли по програма, снабдена с устройство за автоматична смяна на урежешите инструменти (инструментален магазин). Обикновено тя има една или две въртящи се маси (с взаимноперпендикулярни оси) за установяване на обработваните детайли. Многооперационните машини са предназначени за обработване на призматично-корпусни детайли или на ротационно-симетрични детайли. Наименованието „многооперационна машина“ обаче не е коректно от гледна точка на дефинирането на технологичната операция, като част от технологичния процес, която се осъществява на едно работно място. Всяка обработваща машина осъществява *една операция* и не е *многооперационна*, въпреки че може да изпълни разнообразни по характер обработки (пробиване, фрезование, разстъргване, контрол и т.н.).

Обработващите центри в зависимост от типа на преобладаващата обработка се разделят на стругови и фрезови. Те се класифицират и според своите конструктивни особености. Според ориентацията на вретеното/вретената те са:

- ✓ *Вертикални* (с вертикална ос на вретеното/вретената) – определят се като базов вариант на обработващите центри. Използват се предимно за детайли, при които се извършва обработка само от едната им страна, обикновено горната част на детайла. За осигуряване на възможност за позициониране във всяка точка от повърхнината, машината съответно извършва подавателни и установъчни движения по три транслационни оси X, Y и Z. Някои компоновки имат допълнително една или две ротационни оси, което ги прави подходящи за обработване на обемно-профилни повърхнини.
- ✓ *Хоризонтални* (с хоризонтална ос на вретеното/вретената) - използват се за обработка на детайли с подчертана обемност, т.е. със съизмерима дължина, широчина и височина.
- ✓ *Портални* – характеризират се с подобрени технологични възможности в сравнение с хоризонталните и вертикалните обработващи центри (върху тях могат да се обработват детайли с размери до няколко пъти по-големи в сравнение с тези, обработвани от традиционните обработващи центри; магазинът за инструменти може да включва около 180 инструмента, което способства за провеждането

на различна по вид и сложност обработка на детайла). Тези обработващи центри се различават и конструктивно от вертикалните и хоризонталните центри. Характерни особености на порталните центри са: дълга и тясна работна маса, която може да се премества по релсови направляващи; монолитна конструкция; комбинация от ролкови и плъзгащи направляващи; система за бърза смяна на инструмента; шпиндел с голяма мощност и възможност за всякакъв вид обработка; използване на съвременни технологии за автоматизирано управление [86]. Работните процеси, които могат да се извършат с един портален обработващ център, често припокриват работата на няколко машини от друг тип. Това позволява повишаване на ефективността на производствения процес и намаляване на производствените разходи.

Високата производителност и точност в определени граници при продължителна експлоатация, разширените технологични възможности, съчетаването на голяма гъвкавост с висока степен на автоматизация при металорежещите машини с ЦПУ осигуряват възможност те да се конкурират както с универсалните металорежещи машини, така и с металорежещите автомати. Това определя широката област на икономически ефективно приложение на металорежещите машини с ЦПУ.

Приложението на различните видове металорежещи машини зависи от сложността на изработваните детайли и серийността на производството. Колкото е по-малка серийността на производството, толкова по-голяма технологична гъвкавост трябва да има металорежещата машина.

Универсалните металорежещи машини са икономически по-изгодни в случаите, когато технологичната операция не изисква сложна технологична подготовка и може да се разработи и изпълни от оператора на машината. С усложняване на конфигурацията на детайлите и повишаване на изискванията към точността им се налага подробно разработване на технологичния процес. Стеснява се и ролята на оператора за формо- и размерообразуването, за да се избегне отрицателното влияние на субективния фактор върху качеството на обработените детайли. Увеличава се необходимостта от високоинтелектуален инженерен труд, на който, като производствена техника, съответстват машините с ЦПУ. С увеличаване на серийността на производството металорежещите машини с ЦПУ отстъпват място на агрегатните машини, автоматите и автоматичните линии. Те не могат да достигнат производителността на посочените машини поради различната идеология, заложена в изграждането им. Докато металорежещите машини с ЦПУ са изградени върху принципа на висока концентрация на „операциите“ с последователно във времето изпълнение на технологичните преходи, агрегатните машини осъществяват успоредна по време концентрация на преходите, а автоматичните линии работят на принципа на диференциация на операциите, с успоредно във времето изпълнение.

Металорежещите машини с ЦПУ са най-подходящи за изработване на сложни детайли с висока точност в дребносерийното и единичното

производство, а при работа в автоматизирани и роботизирани системи и комплекси – в серийното производство.

С техническото усъвършенстване на металоурежещите машини с ЦПУ и поевтиняването на елементната база за изграждането им областта на ефективното им приложение се разширява.

Обединяването на отделни металоурежещи машини с ЦПУ за изграждане на гъвкави автоматизирани производствени модули (ГАПМ) и гъвкави автоматизирани производствени системи (ГАПС) е съвременна тенденция за разширяване на приложението и за повишаване на ефективността от използването на металоурежещите машини с ЦПУ.

През последните години успешно се прилагат Rapid prototyping технологиите, свързани с използването на особен клас металоурежещи машини с ЦПУ, на които се изработват прототипи на основата на геометрични модели, създадени при проектиране на изделия с помощта на CAD/CAM системи.

2.4.2. Характеристика и технологични възможности на металоурежещите машини с програмно управление

В съвременното машиностроително производство се наблюдава устойчива тенденция към повишаване на изискванията към качеството на обработените детайли, разширяване на тяхната номенклатура и намаляване на сроковете за моралното им остаряване. Налагат се изисквания за гъвкавост и адаптивност към бързо променящите се условия на пазара и потребителското търсене. Едно от решенията за удовлетворяването на тези изисквания е създаването и използването на *машини с програмно управление*, които са носители на една принципно нова технология със следните характеристики [25, 35-37]:

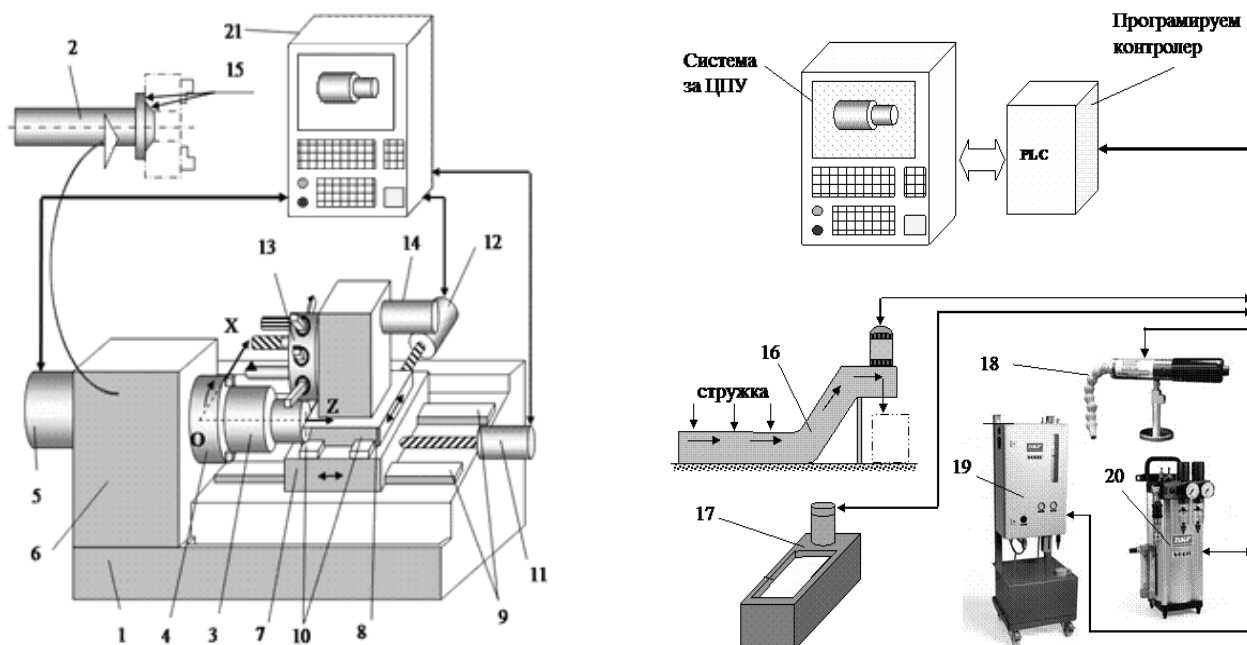
- ✓ формообразуване и размерообразуване без прякото участие на човека;
- ✓ висока степен на автоматизация, приложима за широка номенклатура на детайли;
- ✓ лесна приспособяемост за вграждане в комплекси с централно компютърно управление и реализиране на безлюдни технологии.

Металоурежещите машини с ЦПУ са полуавтоматични или автоматични машини, които се управляват от системи, задаващи работна (управляваща) програма. Те представляват единен комплекс от металоурежеща машина, автоматизиращи устройства и система за ЦПУ.

Основните градивни елементи на металоурежеща машина с ЦПУ са представени на Фиг. 2.4 [86]. Управлението на подавателните преводи 11 и 12 и на движението на вретеното 2 се извършва непосредствено от системата за управление 21. Управлението на спомагателните системи и устройства (позиции 16-20) се извършва от програмируем контролер (PLC), управляван от системата за ЦПУ.

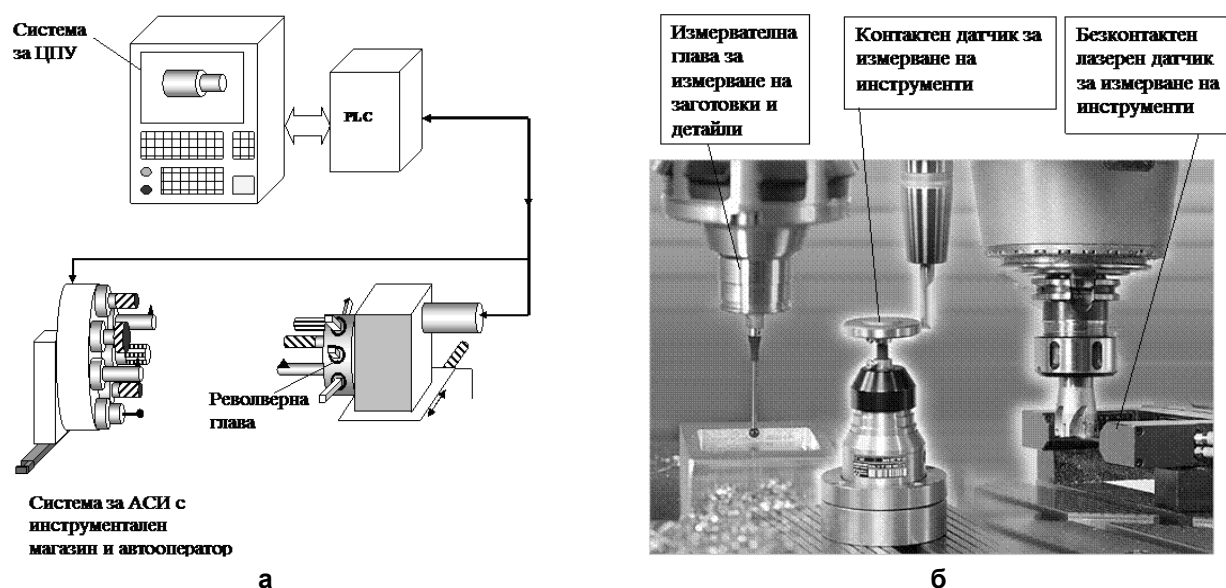
В металоурежещите машини с ЦПУ се използват *устройства за автоматизиране на процеса на обработка и на измервателни процеси върху машината* (Фиг. 2.5) [86]. Системата за автоматична смяна на инструментите (АСИ), състояща се от инструментален магазин и автооператор, е предназначена за обработващи центри, а револверната глава - за стругови машини с ЦПУ

(Фиг. 2.5 а). Тези автоматизиращи устройства са типични представители на цикловите механизми и управлението им се извършва от програмируем контролер. Група устройства за автоматизиране на измервателни процеси върху машини с ЦПУ (измервателна глава за измерване на обработвани и обработени детайли; контактен датчик за измерване на инструменти; безконтактен лазерен датчик за измерване на инструменти) са показани на Фиг. 2.5 б.



Фиг. 2.4. Основни възли на металоуреждаща машина с ЦПУ [86]

1 - тяло; 2 - вретено; 3 – обработван детайл; 4 - патронник; 5 - главен двигател; 6 - предавателна кутия; 7, 8 - надлъжен и напречен супорт; 9, 10 - направляващи; 11, 12 - подавателни преводи; 13 - револверна глава; 14 - двигател за задвижване на револверната глава; 15 - преден край на вретеното; 16 - стружков транспортър; 17 - система за подаване и съхранение на СОТ; 18 - система за подаване на нетечен или бързоизпаряващ се течен охлаждащ агент (въздух, течен азот, етанол); 19, 20 - системи за подаване на минимално количество мажещо вещество за вътрешно и външно мазане; 21- система за ЦПУ



Фиг. 2.5. Автоматизиращи устройства [86]

а - системи за автоматична смяна на инструмента (АСИ); б - устройства за автоматизиране на измервателни процеси върху машина с ЦПУ

Системата за ЦПУ се състои от апаратна част и системно програмно осигуряване. Апаратната част включва в себе си различни електронни елементи и схеми, чието правилно функциониране се базира на системното програмно осигуряване, състоящо се от определен набор програмни пакети.

Управляващата програма е логическа последователност от цифрово-буквени команди, които съдържат необходимата геометрична, технологична и друга допълнителна информация за обработване на даден детайл и осигуряват зададено функциониране на работните органи на машината. Геометричната информация характеризира формата и размерите на обработвания детайл и на инструментите, както и тяхното взаимно разположение в пространството. Тя включва данните, необходими за описание на траекторията на инструментите в предварително определена координатна система. Технологичната информация осигурява определен цикъл на работа на металорежещите машини - последователност на въвеждане (смяна) на инструментите, включване и спиране на СОТ, промяна на режима на рязане, задействане на различни елементи на металорежещите машини, като патронник, задно седло и др.

Управляващата програма за обработване на конкретен детайл се записва в паметта на системата за ЦПУ, където се извършва дешифрирането ѝ и формирането на сигнали за управление на работните органи и на системите за спомагателните движения на машината. Чрез интерполатор се синхронизират и съгласуват простите подавателни движения, като се реализират различни видове интерполация. Така се осигурява възможност за движение на инструмента по произволна траектория, т.е. за обработване на детайли с практически неограничена сложност на контура.

Конструкцията на металорежещите машини с ЦПУ трябва да осигурява: удобство при зареждане с обработвани детайли и освобождаване на готовите детайли, което е особено важно при роботизация на тези процеси; автоматична смяна на инструментите; лесно отвеждане на стружките; възможност за съвместяване на различни видове обработки; възможност за вграждане в обща система за управление при включването на металорежещата машина в гъвкави автоматизирани производствени системи и др.

Основните конструктивни и технологични различия на металорежещите машини с ЦПУ в сравнение с конвенционалните металорежещи машини са:

- използване на регулируеми главни електродвигатели с достатъчно голяма мощност;
- повишена стабилност на носещата система;
- разположение на възлите и херметизация на работната зона, осигуряващи свободно отвеждане на стружките и на СОТ;
- използване на високоскоростни подавателни преводи за неработните ходове на изпълнителните органи;
- използване в подавателните преводи на високомоментни електродвигатели в съчетание със сачмено-винтови предавки и търкалящи направляващи;
- наличие на инструментални магазини и револверни глави, осигуряващи автоматична смяна на режещия инструмент;

- използване на бързопренастройваеми или бързосменяеми приспособления за установяване на обработвани детайли с широк обхват на размери;
- автоматизиране на процеса на отвеждане на стружките;
- висока надеждност на работа на отделните подсистеми и механизми;
- наличие на цифрова система за управление, осигуряваща автоматична обработка на детайлите и др.

Металорежещите машини с ЦПУ имат големи технологични възможности, по важни от които са [25, 36, 37, 42]:

- осигуряване на висока стабилност на технологичния процес, при което отпада необходимостта от често поднастройване;
- възможност за висока концентрация на преходи при едно установяване, с което се печели време и се намаляват грешките от базиране и закрепване;
- възможност при едно установяване да се изпълняват различни методи за механично обработване – фрезование, пробиване, зенкерование, райберование, нарязване на резби и др.;
- обработване на повърхнини със сложна форма, при което формата и размерите на детайла са резултат от траекторията на инструмента - това изключва използването на сложни профилни инструменти, всички размери се получават с една и съща точност и се постига висока точност на обработените детайли;
- използване на нови технологични схеми – фрезование на отвори и винтови цилиндрични повърхнини с кръгова интерполация, нови схеми за нарязване на резби и др.;
- приложение на параметрично програмиране, което позволява при обработка на сложни детайли координатите на възловите точки да се изчисляват автоматично за дадена крива – могат да се разработват параметрични програми за детайли със сходна форма, които се различават само по размери, както и за детайли със сложна форма;
- възможност за съвместяване по място и време на обработване и контрол в полуавтоматичен цикъл, включително и автоматичен контрол;
- висока точност на обработка и възможност за управление на процеса от страна на оператора за осигуряване на стабилност на размерите във времето, благодарение на възможността да се въвеждат корекции за компенсиране на износването на инструментите – пренастройването се извършва в цифров код и не се влияе от квалификацията на оператора;

- възможност за постигане на висока степен на автоматизация при обработване на малки серии и за бързо пренастройване за обработване на друг детайл; много добра възможност за използване на групови технологични процеси.

Основните предимства на металорежещите машини с ЦПУ, които определят ефективността на използването им, са [25, 36, 59, 86]:

- висока производителност (2÷6 пъти по-голяма в сравнение с тази на аналогични конвенционални металорежещи машини) в резултат на намаляване на спомагателното и на подготвително-заклучителното време, както и на

машинното време поради залагане в управляващите програми на оптимални режими на рязане, които не зависят от субективните качества на оператора;

- увеличаване на точността на обработката (до $\pm 1 \mu m$) вследствие на високата точност на преместване на работните органи на машината, автоматичното получаване на всички размери, високата концентрация на технологични преходи, намаляването на броя на преустановяванията на детайлите за сметка на позициониране на изпълнителните органи на металорежещата машина с висока прецизност, възможността за непрекъснат контрол и адаптивно управление на технологичните процеси, изключване на влиянието на субекта върху формо- и размерообразуването;

- съкращаване и опростяване на технологичната екипировка – приспособленията служат само за базиране и закрепване на заготовките, те са без направляващи (кондукторни) втулки за водене на инструментите, без делителни и други механизми за позициониране на обработваните детайли;

- възможност за обработване на детайли с висока точност и сложна конфигурация особено с програми, генерирани в САМ пакети;

- осигуряване на постоянна производителност, която не зависи от субективните качества на оператора, и намаляване на брака по вина на субекта;

- създаване на условия за многомашинно обслужване от оператори с относително ниска квалификация и малък брой висококвалифицирани технолози-програмисти и настройчици, което поевтинява производството и дава възможност за лесно обучение на кадри;

- съкращаване на разходите за контрол поради високата стабилност на размерите и бързото и точно поднастройване с корекции, внасяни в цифров вид;

- намаляване на оборотните средства за незавършено производство, за складови площи и вътрешно-заводски транспорт;

- лесно пренастройване за преминаване от един към друг обработван детайл (гъвкавост на производството);

- възможност за автоматизирано проектиране на технологичната операция и изработване на управляваща програма;

- възможност за директно компютърно управление;

- създаване на възможност за включване в автоматизирани комплекси с различна степен на автоматизация и гъвкавост от типа на гъвкави производствени модули, гъвкави производствени клетки, гъвкави автоматизирани производствени системи и бързонастройващи се автоматизирани технологични линии с гъвкава автоматизация.

Металорежещите машини с ЦПУ обаче имат и някои *недостатъци*:

- високи разходи за капиталовложения;

- допълнителни разходи за CAD-CAM системи и програматори;

- значителни експлоатационни разходи за обслужване на електронната част;

- необходимост трудоемките операции да се извършват на универсални машини, т.к. обработваните детайли силно се загряват и от възникналите напрежения се получават деформации.

2.4.3. Системи за ЦПУ

Системите за ЦПУ осигуряват управление на движението и на скоростта на преместване на работните органи на металорежещите машини при формообразуването, както и на последователността на цикъла на обработка, на режимите на рязане и на различни спомагателни функции. Те се различават по начина за обработка на информацията, вида на движенията на изпълнителните механизми и начина на формиране на управлението на задвижванията [9, 25, 86].

- ***Системи за ЦПУ в зависимост от начина на изграждане и нивото на техническите им възможности***

Първите системи за ЦПУ са несложни електронни устройства, работещи с магнитна лента, на която се записва информация за движенията на работните органи на машината.

Системите от второ поколение са от клас NC (Numerical Control). Те са с постоянна логическа структура и програмата се задава от перфолента. Всички функции се реализират с изчислително-логически устройства. Тези системи имат твърдо зададени параметри и нямат възможност за оперативно съхранение на използваната работна програма. Алгоритъмът на работа е постоянен и се изгражда за всяка конкретна машина. NC системите нямат памет, допълнения и корекции към програмата изискват нова перфолента. Пултът за ръчно въвеждане на данни не е развит. Развитието на тези системи е в посока на увеличаване на тяхната оперативна памет и на технологичните им възможности.

HNC системите (Hand Numerical Control) са разновидност на системите с ЦПУ, в които отсъства програмоносител и програмата се задава ръчно от оператора от пулта за управление чрез клавиши, превключватели и др. За тях е характерно наличието на възможности за записване на управляващата програма по резултатите от обработването на първия детайл в ръчен режим. Въвеждането на програмата се осъществява с помощта на задаване на геометричните елементи на контура на обработваната повърхнина. HNC системите намират приложение при стругови, фрезови и разстъргващи машини с предварителен запис на програмата.

Системите от трето поколение са от клас CNC (Computer Numerical Control). Те осигуряват автономно управление на металорежещата машина. Изградени са на микропроцесорна основа (имат компютърна организация и логическа структура), основана на базово програмно осигуряване и собствена памет, която позволява съхраняването на много програми. От пулта за управление на CNC системата е възможна бърза и лесна корекция на въведената програма. *Машините с CNC системи за управление притежават различни цикли за обработване* и осигуряват възможност за използване на *подпрограми* и *макропрограмиране*. Това са най-разпространените системи за управление на металорежещи машини с ЦПУ.

В съвременните системи за ЦПУ се използват разнообразни носители на информация със значителен обем - дискети, CD, флаш памети. Флаш паметите (флаш карта и USB-стик) се характеризират с голяма плътност на записа, много висока скорост на прочитане/запис и висока надеждност.

Използват се и възможностите на компютърните мрежи, позволяващи дистанционна разработка на програмни продукти. Зареждането с управляващи програми и директното управление на работния цикъл на система за ЦПУ се осъществяват чрез компютър. *Такова управление на една или повече системи за ЦПУ се нарича управление DNC (Direct Numerical Control).*

DNC системите са четвърто поколение системи за ЦПУ. Те са за обмяна на данни по даден протокол, като към общ компютър са свързани група машини и по заявка се прехвърлят съответните NC програми в CNC системите на машините (групово управление на металоурежещи машини от общ компютър). Подобни технически решения се използват при създаване на гъвкави автоматизирани производствени системи.

CAM системите са мощни компютърни системи за ЦПУ, които освен управлението на обработката извършват основната част от технологичната подготовка. Програмата работи с аналитично описание на контура на детайла с линии, точки и други геометрични елементи, въз основа на което системата генерира управляваща програма. При CAM системите се изисква модел на детайла, създаден в CAD среда, въз основа на който в CAM среда се генерира управляващата програма.

- ***Системи за ЦПУ според начина на управление на работните органи на металоурежещите машини***

Системите за ЦПУ се класифицират на позиционни, циклови и контурни.

Позиционните системи осигуряват точно автоматично установяване на работния орган на металоурежещата машина, респективно на урежещия инструмент или на обработвания детайл, в определена работна позиция, зададена от управляващата програма. Преместването може да се осъществи на бърз ход, без да се сменя материал, или с работно подаване, успоредно на координатните оси, при което се обработва детайлът. Позиционното управление се използва главно при пробивни, радиално-пробивни и пробивно-разстъргващи машини за обработване на корпусни детайли с голям брой отвори.

При *цикловите системи* обработката се извършва успоредно на някои от координатните оси, като няма функционална връзка между движенията по осите.

Контурните системи осигуряват автоматично работно движение на урежещия инструмент или на детайла по непрекъсната траектория при наличие на функционална зависимост между движенията на съответните органи на машината. Реализира се автоматично преместване по траектория, зададена от управляващата програма. Тези системи се използват при стругови и фрезови машини и обработващи центри, предназначени за обработване на сложни детайли с ротационни и обемни профилни повърхнини.

За синхронизиране на движенията при съвременните CNC системи се използват различни видове интерполация - линейна, кръгова, параболична, хеликоидална, конволутна, сплайнова [42, 59-61, 86]. Интерполацията представлява съгласувано едновременно движение на два или повече подавателни работни органа по линейни и/или кръгови оси, в резултат на което се получава сложна равнинна или пространствена траектория на движение на инструмента

(детайла). Това е същността на цифровото програмно управление. В реализацията на интерполацията могат да участват едновременно подавателни работни органи по 2, 3, 4 или 5 оси.

Необходимостта от обработване на сложни контури и обемно-профилни повърхнини (например повърхнини на инструменти за обемно формо-образуване като матрици и поансони, щприц-форми, лопатки за турбини и вентилатори, гребни винтове за плавателни съдове) налага траекторията на движение на инструмента (детайла), която не може да се опише с обикновени интерполации (линейна или кръгова), *да се апроксимира, т.е. да се замести от близка до нея начупена линия, съставена от множество елементарни линейни сегменти*. Недостатъци на апроксимирането са:

- Намаляване на скоростта на отработване на управляващата програма. Тъй като всеки елементарен линеен сегмент се описва с отделно изречение, дължината на управляващата програма може да нарасне значително. Това претоварва работата на системата за ЦПУ по обработката на данните, намалява производителността ѝ и води до увеличаване на сумарното време за обработване.

- Намаляване на скоростта на движение по траекторията. Преминаването от един линеен сегмент към друг е свързано със смяна на траекторията на движение. Тъй като при това могат да възникнат грешки в отработването на контура, алгоритъмът на работа на системата за ЦПУ предвижда забавяне на движението в края на участъка и ускоряването му в началото на следващия участък. Това редуване на забавяне и ускоряване се повтаря на всеки участък и води до намаляване на средната скорост на движение по цялата апроксимираща линия.

- Приложение само при 2D контури. Апроксимирането на сложни обемно-профилни повърхнини е нецелесъобразно, тъй като изисква генериране на голям брой апроксимиращи криви, което многократно увеличава обема на управляващата програма.

Недостатъците на линейното апроксимиране се проявяват още по-силно при високоскоростна обработка (High Speed Machining - HSM), тъй като големият обем на управляващата програма не позволява да се постигнат високи скорости на подавателното движение. Решение на проблема е използването на *плавни криви линии, наречени сплайни*, вместо начупената апроксимираща линия [42, 59-61, 86]. Движението на инструмента по плавна траектория се извършва с по-висока скорост поради по-малкото динамично натоварване. Програмирането на движението е значително по-икономично, отколкото програмирането на линейни сегменти - един сплайн (spline) е елементарен участък, който замества няколко елементарни участъка, съставени от линейни сегменти. Това позволява управляващата програма да бъде по-къса и времето за обработването ѝ в системата за ЦПУ да бъде съкратено значително.

Един сложен контур може да бъде представен чрез няколко сплайна. Свързването между два съседни сплайна е такова, че осигурява плавност на контура по цялата му дължина. Сплайнът е сложен математически полином и генерирането на управляващи програми със сплайнова интерполация е възможно само при използване на CAD/CAM системи. Най-често използваната

сплайнова интерполация е *NURBS* интерполацията, базирана върху *NURBS* криви [60, 61]. *NURBS* кривите се представят от апроксимиращи полиноми до трета степен, които служат за описание на сложни контури и обемно-профилни повърхнини и чрез които може да се моделира произволна гладка крива (кривата не образува резки начупвания, примки и прекъсвания, но се запазва възможността за създаване при желание на остри ъгли). С *NURBS* технологията *NC* данните се представят с много по-висока плътност в сравнение с линейната апроксимация. С един *NURBS* блок в зададен допуск се представят голям брой конвенционални *NC* изречения. Решават се проблемите, свързани с необходимостта от прехвърляне на голям брой данни и от малко време за обработване на блока. Постига се по-плавна работа и повишаване на точността на обработените повърхнини, особено ако се интерполира генерираната *NURBS* крива в нанометри.

- **Системи за ЦПУ според броя на едновременно управляваните оси**

Системи с ЦПУ биват с 2, 2,5, 3, 4, 5 и повече управлявани оси. Едновременно управление по 2 оси се прилага при стругови и кръглошлифовъчни машини. Системи с 2,5 управлявани оси се използват, когато при трикоординатна машина се налага едновременно управление по две оси *XU*, *UZ* или *ZX*. Такива системи се прилагат при фрезови машини и обработващи центри. Например при трикоординатна пробивно-разстъргваща-фрезова машина с вертикално вретено, ако позициониращото движение на режещия инструмент по координатата *Z* е възможно само при липса на контурно движение на масата по осите *X* и *Y*, системата за ЦПУ се означава като 2,5-координатна. При системите с 3 едновременно управлявани оси може да се извършва синхронизирано движение по осите *X*, *Y* и *Z* по права линия или праволинейно движение по една или две оси и завъртане на масата, заедно с детайла.

Когато се обработват детайли със сложни повърхнини (например специални инструменти, щампи, пресформи, детайли за турбини, турбокомпресори и др.), се налага освен преместване по трите оси *X*, *Y* и *Z* и допълнително синхронизирано завъртане около една или две оси – използват се системи с едновременно управление по 4 или 5 оси.

- **Системи за ЦПУ според броя на потоците от информация**

Системите за ЦПУ са: отворени (осъществяват само един поток от информация – от управляващото устройство към изпълнителния орган); *затворени* (характеризират се с два потока информация - както при отворените системи плюс информация от преобразователите за преместване към сравняващо устройство); *адаптивни* (характеризират се с три потока информация - както при затворените системи плюс информация за протичащите процеси по време на работа). Според принципа на задаване на управляващата програма системите за ЦПУ са с въвеждане на информацията в декодиран вид и с въвеждане на информацията непосредствено от централен компютър.

Повечето от металорежещите машини с ЦПУ в България са окомплектовани със системи за управление на фирма *FANUC* и със системи, произведени у нас по лиценз на тази фирма. Срещат се и машини, окомплектовани със системи за ЦПУ *SINUMERIK*, *BOSCH*, *HEIDENHAIN*, *FAGOR* и др.

2.4.4. Координатни системи, координатно и работно пространство

А. Координатни системи

Работните и установъчните движения на работните органи на металорежещите машини с ЦПУ се извършват в *дясноориентирана правоъгълна координатна система*, регламентирана от стандарт ISO-R841 (Фиг. 2.6). Подчиняването на ориентацията на осите на международен стандарт позволява универсалност на принципите за експлоатация на машините независимо от географските, езиковите и др. различия между отделните производители и потребители. Координатните оси X , Y и Z са ориентирани по правилото на дясната ръка. Гледано от върха на положителната полуос OZ , завъртането на ос X към ос Y (по по-краткия път) става в посока, обратна на часовниковата стрелка. Оста Z е успоредна или съвпада с оста на вретеното, а оста X е перпендикулярна на оста Z и винаги е хоризонтална.

Праволинейните движения, успоредни на координатните оси, се наричат линейни. Положителната посока на преместване на работните органи според стандарта е тази, при която детайлът и инструментът се отдалечават един от друг. Движенията около координатните оси се наричат кръгови и се обозначават с осите A (около ос X), B (около ос Y) и C (около ос Z). Положителната посока на въртене се определя по правилото на десния винт.

Ако са налице координатни оси, успоредни на X , Y и Z , те се обозначават с U , V и W . В някои случаи могат да се използват и допълнителни оси P , Q и R , които обаче не трябва да лежат успоредно на осите X , Y и Z . Оста R се използва предимно при пробивни цикли като адрес за повърхнината на детайла, т.е. там, където оста Z превключва от бърза на работна скорост.

При програмиране на машини с ЦПУ се използват три координатни системи: на машината, на инструмента и на детайла.

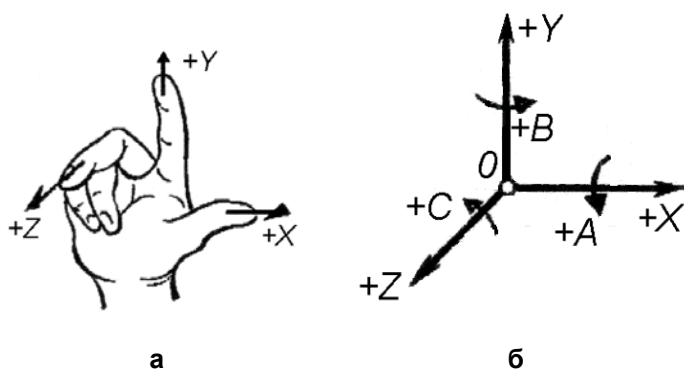
• Координатна система на машината

Всяка машина притежава собствена базова координатна система, наречена *машинна координатна система*. В специална инструкция производителят посочва положението на тази координатна система за всяка конкретна машина. Положението и ориентацията на координатната система на машината е от изключителна важност за правилното функциониране на металорежещите машини с ЦПУ.

Координатната система на машината служи за определяне на положението на детайла и работните органи в работната зона на машината. Тя се

явява главната изчислителна система, в която се определят граничните премествания на работните органи на машината.

Координатното начало се нарича *машинна нула* и е разположено в достъпни за метрологична идентификация повърхнини.



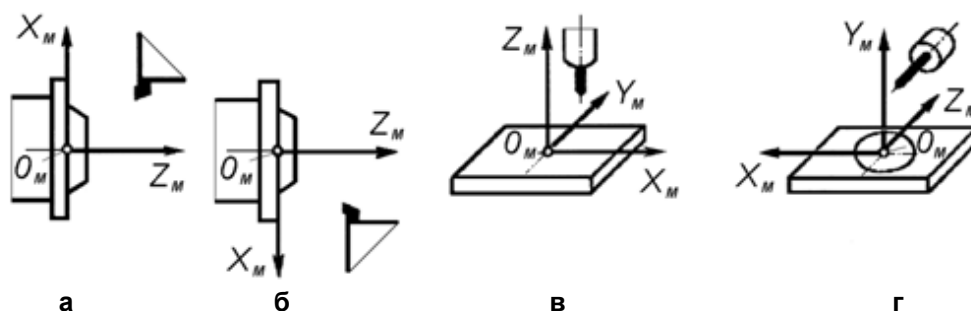
Фиг. 2.6. Координатни оси

Обикновено съвпада с базовата точка на възела, носещ обработвания детайл, в положение, при което всички премествания на работните органи на машината могат да се опишат с положителни координати. За базови точки служат:

- ✓ за *вретеното* - точката на пресичането на челото на вретеното с оста му на въртене;
- ✓ за *супорта на револверен струг* - центърът на въртене на револверната глава в равнина, успоредна на направляващите на супорта и преминаваща през оста на въртене на вретеното, или точката за базиране на инструменталния блок;
- ✓ за *кръстата маса* - точката на пресичането на диагоналите или специална настроечна точка, определена от конструкцията на приспособлението;
- ✓ за *въртяща се маса* - центърът на въртене на масата.

Машинната координатна система на стругове с ЦПУ е двукоординатната система $X_M O_M Z_M$. За начало (нула) се приема базовата точка на вретения възел. Положителните посоки на осите се избират в съответствие с разположението на инструментите (Фиг. 2.7 а, б).

Като машинна координатна система за пробивните, разстъргващите и фрезовите машини с ЦПУ се използва трикоординатната система $X_M O_M Y_M Z_M$. За начало на координатната система се използва точка на масата в едно от нейните крайни положения. Направленията на координатните оси са свързани с конструкцията на машината (Фиг. 2.7 в, г).



Фиг. 2.7. Координатна система на машината [36]

а, б – координатна система на стругове с ЦПУ при разположение на инструмента над (зад) оста на въртене на вретеното (а) и под (пред) оста (б); в, г – координатна система на пробивни, разстъргващи и фрезови машини с ЦПУ с вертикално (в) и хоризонтално (г) вретено

• **Координатна система на детайла**

Координатната система на детайла се определя от технолога-програмист. Спрямо тази координатна система се определят преместванията на инструмента - изчисляват се точките на траекторията на инструмента (начало, край, пресичане или допиране на геометричните елементи, от които е образувана линията на контура на детайла). Началото на координатната система е точка с нулеви значения на координатите на детайла и спрямо нея се задават размерите и положението на повърхнините.

При избор на координатна система на детайла е желателно: координатните равнини да съвпадат с технологичните бази или да са успоредни на тях; координатните оси да съвпадат с размерните линии, спрямо които са зададени

повечето от размерите, или с осите на симетрия; началото на координатната система да се разполага така, че всички или повечето точки от контура на детайла да имат положителни координати; направлението на координатните оси да се избира, както това на координатната система на машината [35, 36].

При струговите машини с ЦПУ началото на координатната система на детайла може да се избере без ограничения по ос Z , а по ос X началото е върху оста на въртене. Най-често за начало на координатната система се приема точката, в която оста на вретеното пробоща равнината на най-дясното чело на детайла. При фрезови обработващи центри началото на координатната система се избира без ограничения в работната зона на машината. Посоките на осите се приемат при условието, че детайлът е неподвижен, а инструментът извършва главното и подавателните движения.

- **Координатна система на инструмента**

Координатна система на инструмента е предназначена за задаване на положението на режещата част на инструмента спрямо държача, т.е. за задаване на инструменталните координати (координатите на върховете на инструментите). От нейното начало започва програмирането на преместването на инструмента, т.е. началото на отчитането на обработката. Координатите се задават спрямо координатната система на детайла.

Инструментът в работно положение се описва заедно с държача. При описанието на цялото разнообразие от монолитни и модулни инструменти за машините с ЦПУ е удобно да се използва единна координатна система за инструментите, осите на която са успоредни на осите на стандартната координатна система на машината и имат същите посоки. Началото на тази координатна система се приема в базовата (реперната) точка на инструменталния блок, като се отчитат особеностите при неговото установяване на машината.

Б. Координатно и работно пространство

Основна конструктивна характеристика на металорежещите машини с ЦПУ е *координатното пространство*. То се определя от максималните премествания на работните органи на машината по координатните оси. За стругови машини координатното пространство е цилиндър с радиус $X_{\max}$ и височина $Z_{\max}$, като $X_{\max}$ е максималният ход на напречния супорт, а $Z_{\max}$ – максималният ход на надлъжния супорт. За фрезови и пробивно-разтъргващи машини, както и за обработващи центри координатното пространство е паралелепипед със страни $X_{\max}$, $Y_{\max}$ и $Z_{\max}$, като тези максимални премествания конструктивно се обвързват с широчината на работната маса, за да се гарантират стабилност и точност на машината.

За да се определят максималните размери на обработвания детайл, който може да бъде обработена на конкретна машина, се изхожда от максимално възможните премествания на лимитиращите инструменти, като пространството, определено от тях, се нарича *работно пространство*.

Работното пространство е част от координатното пространство, характерно за различните компоновки машини с ЦПУ, отчитащо особеностите на технологичния процес (програмната операция). Размерите на работното пространство при обработващите центри се представят като части от широчината B на масата.

3.1. ТЕХНОЛОГИЧНИ ВЪЗМОЖНОСТИ

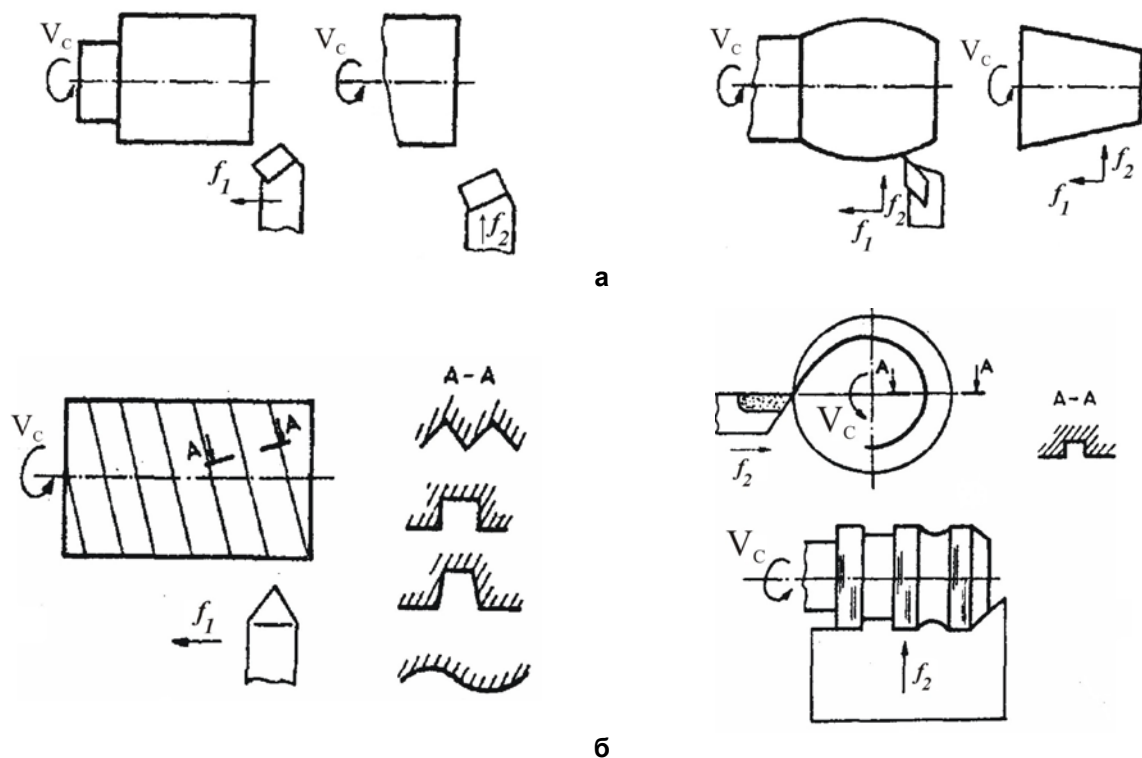
Струговането е високопроизводителен процес за механично обработване, който се прилага за получаване на външни и вътрешни ротационни (цилиндрични, конусни, профилни) и челни повърхнини. Технологичните възможности на процеса са: при грубо струговане - точност $15 \div 12$ степен и грапавост $Rz = 160 \div 50 \mu m$; при получисто струговане - точност $11 \div 9$ степен и грапавост $Rz = 80 \div 12,5 \mu m$; при чисто струговане - точност $8 \div 7$ степен и грапавост $Rz = 5 \div 1,6 \mu m$ [6, 39, 48].

Главното движение при струговане е въртеливо и се извършва най-често от обработвания детайл, а подавателното движение е праволинейно и се извършва от режещия инструмент.

В зависимост от направлението на подавателното движение струговането се извършва по три кинематични схеми (Фиг. 3.1):

- ✓ с надлъжно подаване f_1 ;
- ✓ с напречно подаване f_2 ;
- ✓ с комбинирано подаване $(f_1 + f_2)$.

Траекториите на относителните движения са съответно винтова линия при струговане с надлъжно подаване, равнинна спирали при струговане с напречно подаване и пространствена спирали при струговане с комбинирано подаване.



Фиг. 3.1. Методи на формообразуване при струговане
а - метод на следата; б – метод на копиране

Трите кинематични схеми дават възможност за получаване на различни повърхнини в зависимост от метода на формообразуване (копиране или метод на следата). При това трябва да се има предвид, че един инструмент може да извършва формообразуване едновременно по двата метода.

Когато *формообразуването се извършва по метода на следата* (Фиг. 3.1 а), се получават:

- ✓ *цилиндрични повърхнини при обработване с надлъжно подаване;*
- ✓ *равнинни (челни) повърхнини при обработване с напречно подаване;*
- ✓ *ротационно-профилни повърхнини (в частност сферична или конусна повърхнина) при обработване с комбинирано подаване.*

Когато *формообразуването се извършва по метода на копиране* (Фиг. 3.1 б), се получават сложни профилни повърхнини:

- ✓ *профилна повърхнина, разположена по цилиндрична винтова линия, при обработване с надлъжно подаване (например резба с различен профил – триъгълен, правоъгълен, трапецовиден, полукръгъл и т.н.);*
- ✓ *профилна повърхнина, разположена по равнинна (архимедова) спирали, или ротационно-профилна повърхнина при обработване с напречно подаване;*
- ✓ *профилна повърхнина, разположена обикновено по конусна винтова линия (пространствена спирали) при обработване с комбинирано подаване (по този начин се наричат конусни резби, шнекове и др.)*

3.2. РЕЖИМ НА РЯЗАНЕ

Елементите на режима на рязане при струговане са: *дълбочина на рязане a , mm; подаване f , mm/rev; скорост на рязане V_c , m/min.* Те се избират в следната последователност: $a \rightarrow f \rightarrow V_c$.

Дълбочината на рязане a се измерва в направление, перпендикулярно на направлението на подаването (Фиг. 3.2), и е равна на:

- разстоянието между обработваната 1 и обработената 2 повърхнина при струговане на външни и вътрешни цилиндрични и челни повърхнини (Фиг. 3.2 а, б, в);

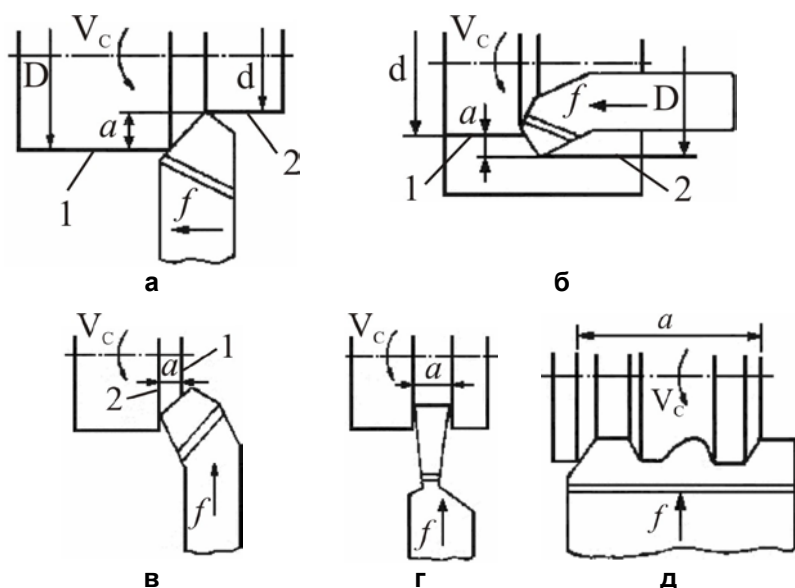
- широчината на прорязващия/отрезващия нож при прорязване на канали и при отрязване (Фиг. 3.2 г);

- проекцията на режещия ръб на ножа върху оста на обработвания детайл при струговане с профилен нож (Фиг. 3.2 д).

Дълбочината на рязане при грубо струговане се избира с оглед осигуряване на най-голяма производителност и снемане на прибавката за обработване Z за един ход ($a = Z$). Когато прибавката е голяма и не може да се свали за един работен ход, обработването се извършва за i работни хода, така че $\sum a_i = Z$.

Чистото струговане се извършва за един работен ход и дълбочината на рязане е равна на прибавката. Тази прибавка се определя от съображения за осигуряване на качеството на обработената повърхнина.

Подаването при грубо струговане се избира възможно най-голямо, като се изхожда от мощността на технологичната система и якостта и стабилността на



Фиг. 3.2. Дълбочина на рязане при струговане

нейните елементи – стругарски нож, обработван детайл, подавателен превод.

От определените допустими подавания се избира най-малкото – $f_{\min}$, което се сравнява с наличните подавания f_m на машината, така че да се удовлетворява условието:

$$f_m \leq f_{\min}. \quad (3.1)$$

Подаването при чисто струговане зависи от зададената грапавост $[Rz]$ на обработената повърхнина

и радиуса при върха на инструмента r_ε :

$$f = \sqrt{\frac{[Rz]r_\varepsilon}{125}}, \text{ mm/rev.} \quad (3.2)$$

С определените стойности на дълбочината на рязане a и на подаването $f = f_m$ се пресмята скоростта на рязане V_{ct} при определена трайност T на инструмента:

$$V_{ct} = \frac{C_{Vc} K_{Vc}}{T^m f^{y_{Vc}} a^{x_{Vc}}} \quad (3.3)$$

и скоростта, ограничена от възможностите (мощността P_m) на машината:

$$V_{cp} = \left(\frac{60 \cdot 10^3 P_m \eta}{C_{Fc} a^{x_{Fc}} f^{y_{Fc}} K_{Fc}} \right)^{\frac{1}{1+n_{Fc}}}. \quad (3.4)$$

Константите C_{Fc} , C_{Vc} , степенните показатели x_{Fc} , y_{Fc} , n_{Fc} , x_{Vc} , y_{Vc} , m и корекционните коефициенти K_{Fc} , K_{Vc} са дефинирани в Глава първа и се определят от справочници [48].

Технологичната скорост на рязане $V_{ctехн}$ е по-малката от двете скорости V_{ct} и V_{cp} . С нея се пресмята необходимата честота на въртене:

$$n = \frac{10^3 V_{ctехн}}{\pi D}, \text{ min}^{-1}. \quad (3.5)$$

Честотата на въртене се избира така, че да е изпълнено условието $n_m \leq n$.

С така определения режим на рязане (a , f и $V_c = V_{ctехн}$ или n) се прави проверка на възможността за реализиране на режима по отношение на достатъчност на мощността на машината.

Определените елементи на режима на рязане служат за определяне на времето на рязане t_c при i работни хода:

$$t_c = \frac{L_p i}{f_m n_m}, \min, \quad (3.6)$$

където L_p е дължина на работния ход на ножа.

3.3. СТРУГАРСКИ НОЖОВЕ

Стругарските ножове са инструменти, работещи с едно режещо острие. Разделят се на *ножове с общо предназначение* и *профилни ножове*.

3.3.1. Стругарски ножове с общо предназначение

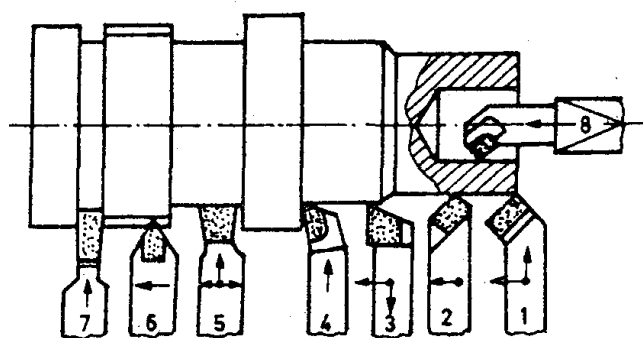
Стругарските ножове с общо предназначение са най-простите по конструкция и най-универсалните режещи инструменти. Използват се за обработване на различни повърхнини – цилиндрични, равнинни, конусни, ротационно-профилни, във всички типове производство – от единично до масово. Стругарските ножове с общо предназначение се класифицират по следните основни признаци (Фиг. 3.3) [24, 45, 57]:

- ✓ *форма на обработваната повърхнина и направление на подаването* – проходни, копирни, подрязващи, отрязващи, резбонарязващи, разстъргващи;
- ✓ *вид на обработваната повърхнина* – ножове за обработване на външни или вътрешни повърхнини;
- ✓ *характер на обработването* – за грубо, чисто и фино обработване;
- ✓ *посока на подаването* – леви и десни;
- ✓ *форма на режещата част (главата) на ножа* – прави, криви, огънати и изтеглени;
- ✓ *напречно сечение на тялото* – квадратни, правоъгълни и кръгли;
- ✓ *материал на режещата част* – изработени от инструментални стомани, металокерамика, минералокерамика и свръхтвърди материали;
- ✓ *конструкция* – цели, съставни (споени или заварени) и сглобяеми;
- ✓ *начин на експлоатация* – презаточваеми и непрезаточваеми.

Проходните ножове се използват за обработване на външни ротационни и челни повърхнини. Най-прости по конструкция са правите проходни ножове. С тях се обработват външни цилиндрични и конусни повърхнини и фаски. Чрез завъртане на ножа на 90° могат да се обработват челни повърхнини.

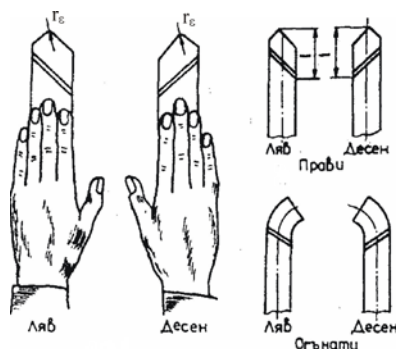
По-удобни за работа и по-универсални са проходните ножове с огънати глави. Те имат два режещи върха. С единия връх чрез надлъжно подаване се обработват цилиндрични и конусни повърхнини, а с другия връх чрез напречно подаване – челни повърхнини.

Проходните упорни ножове се характеризират с това, че главният им установъчен ъгъл $\kappa_r = 90^\circ$. Те се използват за обработване на цилиндрични повърхнини или едновременно на цилиндрични и челни повърхнини.

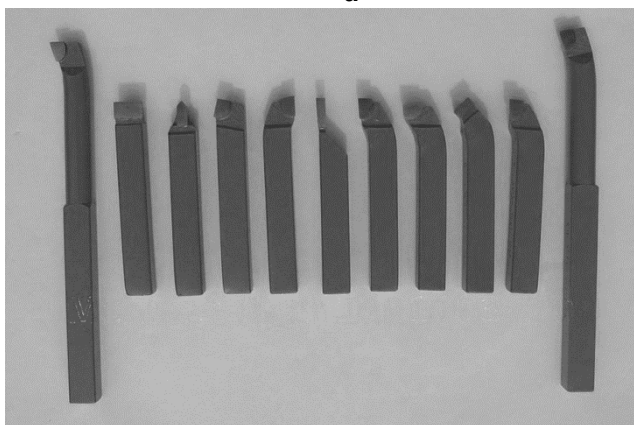


1, 3 – проходен с огъната глава; 2 – проходен прав;
4 – подрязващ; 5 – лопатообразен; 6 – резбонарязващ;
7 – отрязващ (прорязващ); 8 – разстъргващ

а



б



в



г

Фиг. 3.3. Стругарски ножове с общо предназначение

а - видове стругарски ножове в зависимост от формата на обработваната повърхнина; б - видове стругарски ножове в зависимост от посоката на подаването и формата на главата; в - съставни стругарски ножове (със споени пластини); г - сглобяеми стругарски ножове (със сменяеми пластини)

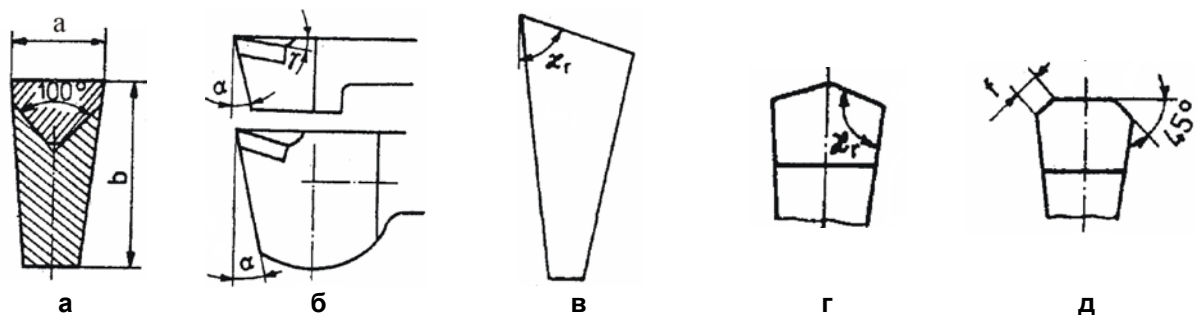
Подрязващите ножове се използват за обработване само на челни повърхнини. Подрязването се извършва по две схеми – с подаване от периферията към оста на въртене на обработвания детайл и обратно. При по-големи размери на детайла ($d > 100 \text{ mm}$) и големи дълбочини на рязане ($a > 5 \text{ mm}$) се препоръчва обработване с подаване от оста на въртене към периферията на детайла.

Лопатообразните ножове са с голяма широчина и със закръгления на двата върха. Използват се за чисто обработване с голямо подаване на цилиндрични и къси челни повърхнини и могат да режат с двата си върха. Склонни са към трептения.

Резбонарязващите ножове се характеризират с формата на режещата си част, която зависи от профила на нарязваната резба – триъгълна, правоъгълна, трапецовидна, полукръгла, трионовидна.

Отрязващите ножове (Фиг. 3.4) се използват за отрязване на заготовки от прътов материал със сравнително малък диаметър. Те работят при много тежки условия, тъй като режещата им част е с малка стабилност, а отвеждането на стружките от зоната на рязане е затруднено. Широчината на режещата част на ножа е малка, за да се реже с по-малка дълбочина, а дължината ѝ трябва да е по-голяма от радиуса на отрязвания материал (Фиг. 3.4 а). Тези ножове се

изработват с малки спомагателни установъчни κ_r' и задни α' ъгли ($1 \div 3^\circ$), за да не се намалява допълнително стабилността на режещата част. Това води до повишено триене, особено при неточно установяване на инструмента или при неправилно заточване. Затова отрязващите ножове се чупят по-често от останалите. За да се увеличи стабилността на режещата част, височината ѝ често се изработва по-голяма от височината на тялото (Фиг. 3.4 б).



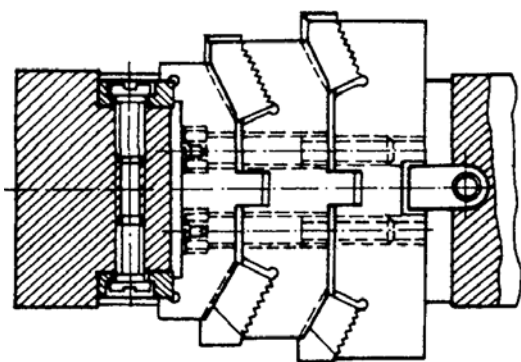
Фиг. 3.4. Отрязващи ножове

Отрязващият нож обикновено не срязва слоя материал по целия радиус на обработвания детайл, тъй като в определен момент отрязваният детайл се отчупва и в средата остава неотрязана част. За да се обработи напълно челото на пръта, главният режещ ръб на ножа се изработва с главен установъчен ъгъл $\kappa_r = 75 \div 80^\circ$ (Фиг. 3.4 в). Използват се и ножове с два симетрично разположени режещи ръба с ъгъл $\kappa_r = 60 \div 80^\circ$ (Фиг. 3.4 г). Тази форма на режещата част облекчава врязването на ножа в материала, подобрява условията за отвеждане на стружките и намалява вероятността от еластични деформации на ножа под действие на силите на рязане. Със същата цел отрязващите ножове с ъгъл $\kappa_r = 90^\circ$ се изработват с фаски $f = 1 \div 1,5 \text{ mm}$ под ъгъл 45° от двете страни (Фиг. 3.4 д).

Прорязващите ножове се използват за обработване на канали и имат широчина, равна или по-малка от широчината на обработвания канал. Формата на режещата част съответства на формата на канала.

За обработване на вътрешни повърхнини се използват **разстъргващи ножове**. В зависимост от вида на обработваната повърхнина те са проходни, подрязващи, прорязващи, резбонарязващи и др. Разстъргващите ножове работят при много по-тежки условия, отколкото ножовете за обработване на външни повърхнини. Сечението на тялото им е ограничено от диаметъра на обработвания отвор, а дължината им е по-голяма от дължината на този отвор. Поради това те са нестабилни и склонни към трептения.

При разстъргване на отвори с голяма дължина се използват държачи, в които се закрепват разстъргващи ножове с кръгло или квадратно сечение на тялото. Разстъргването на отвори с големи размери може да се извършва с двустранни разстъргващи ножове или с разстъргващи глави, състоящи се от няколко ножа (Фиг. 3.5) Тези инструменти осигуряват по-голяма производителност, но по-малка точност. Затова се използват за грубо обработване.

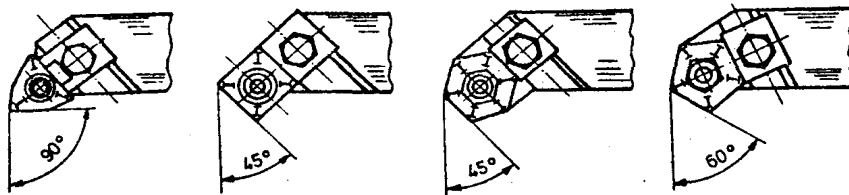
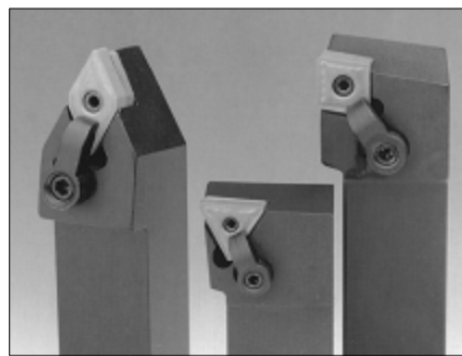


Фиг. 3.5. Инструменти за разстъргване

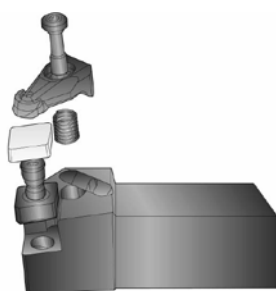
Използването на **цели ножове** е икономически неизгодно, защото само една малка част от скъпия инструментален материал се използва непосредствено за рязане. Затова цели ножове се изработват предимно от по-евтините въглеродни и легирани инструментални стомани. Ножовете от бързорежеща стомана, метало- и минералокерамика и свръхтвърди материали се изработват съставни или сглобяеми. Режещата част представлява пластина, закрепена към главата на ножа.

Съставните ножове са презаточваеми и непрезаточваеми. Закрепването на пластината при ножовете с презаточваеми пластини се извършва чрез спояване или заваряване. Пластините се разполагат по различен начин върху главата на ножа: успоредно на предната повърхнина; успоредно на задната повърхнина; под наклон във врязано или в открито гнездо. При избиране на начина на разполагане на пластините се изхожда от съображения за минимален разход на материал при презаточване, технологичност на изработване на ножа и закрепване на пластината, благоприятно натоварване на пластината от силите на рязане.

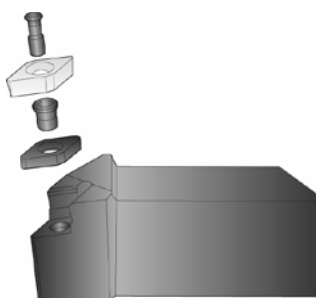
Ножовете с многогърбови непрезаточваеми пластини (Фиг. 3.6) са сглобяеми инструменти, които намират широко приложение особено при обработване на детайли върху стругове с ЦПУ. Формата, размерите и означенията на пластините от метало- и минералокерамика и свръхтвърди материали са разгледани в Глава първа (т. 1.3.5). Голямото многообразие от пластини определя наличието на различни системи за закрепването им в държачите на инструментите (Фиг. 3.7). Тези системи се обозначават с буквите С, Р, М, S и D според стандарт ISO (Фиг. 3.8 и Фиг. 3.9).



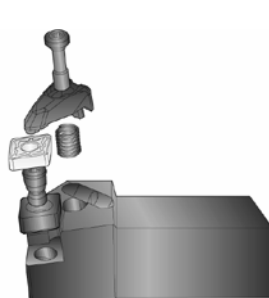
Фиг. 3.6. Ножове с многогърбови непрезаточваеми пластини



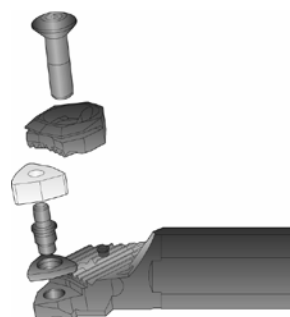
C-закрепване - за пластини с отрицателен ъгъл, без отвор; първи избор за пластини PCBN



S-закрепване - за пластини с положителен ъгъл, с отвор; първи избор за пластини с положителен ъгъл



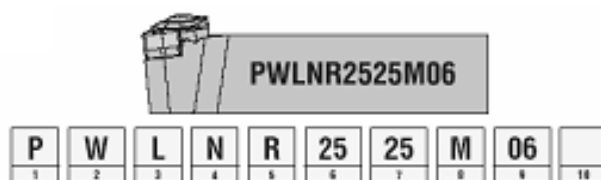
D-закрепване - за пластини с отрицателен ъгъл, с отвор; първи избор за външно струговане



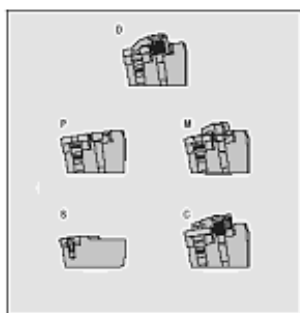
R-закрепване - за пластини с отрицателен ъгъл, с отвор; първи избор за вътрешно струговане

Фиг. 3.7. Система за закрепване на пластини

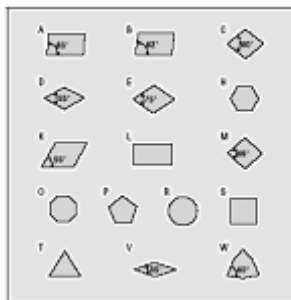
Означението по ISO на ножове със сменяеми пластини за обработване на външни и вътрешни повърхнини е представено съответно на Фиг. 3.8 и Фиг. 3.9.



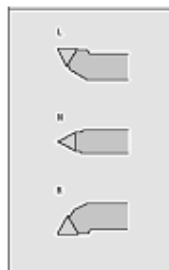
1. Закрепване на пластината



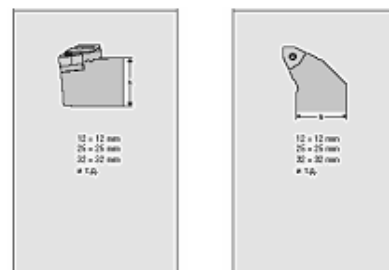
2. Форма на пластината



5. Посока на подавателното движение



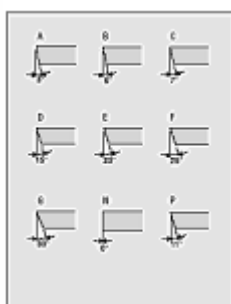
6.; 7. Параметри на напречното сечение на тялото на ножа



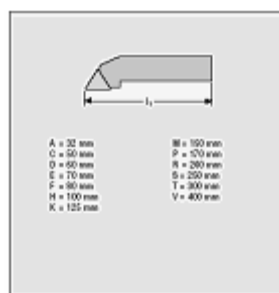
3. Тип на инструмента (форма на работната част и стойност на главния установъчен ъгъл)



4. Заден ъгъл



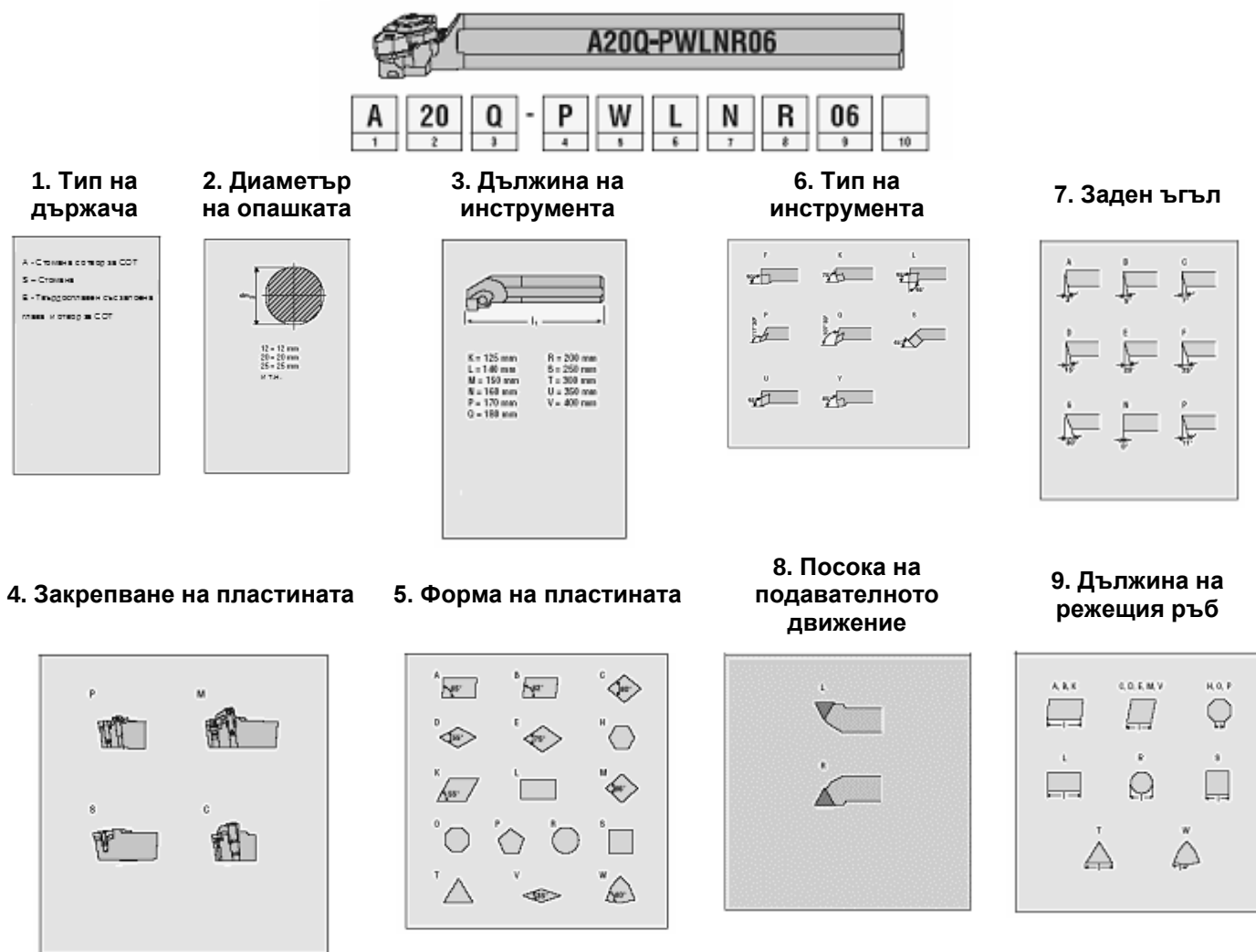
8. Обща дължина



9. Дължина на режещия ръб



Фиг. 3.8. Означение по ISO 5608 на ножове със сменяеми пластини за обработване на външни повърхнини



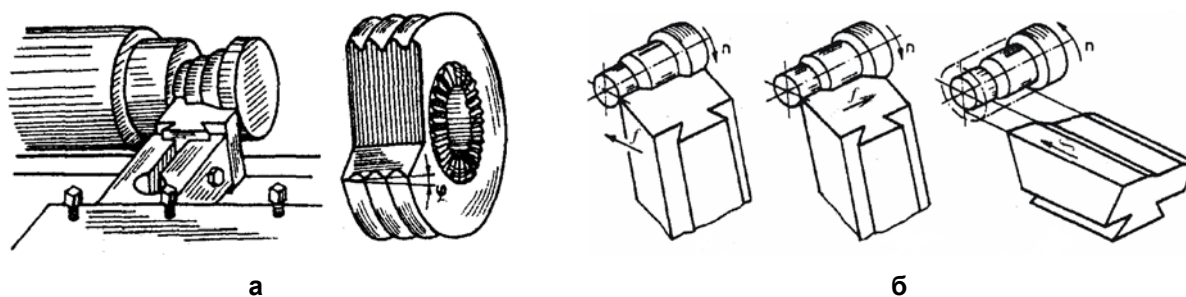
Фиг. 3.9. Означение по ISO 5608 на ножове със сменяеми пластини за обработване на вътрешни повърхнини

3.3.2. Профилни ножове

Профилните ножове (Фиг. 3.10) са специални инструменти, които се използват за обработване на сложни профилни повърхнини с малка дължина (обикновено до 80 mm). Те осигуряват голяма точност и малка грапавост на обработените повърхнини. Обработването се извършва с висока производителност от работници с ниска квалификация. Ножовете допускат голям брой презаточвания, но са сложни и скъпи. Конструирването им се извършва по специална методика, аналитично или графично, по зададен чертеж на обработвания профил. Ето защо тези инструменти се използват ефективно в едросерийното и масовото производство.

Профилните ножове се класифицират по следните признаци:

- *геометрична форма* – призматични и кръгли (дискови) - Фиг. 3.10 а;
- *направление на подавателното движение* - радиални, осови и тангенциални (Фиг. 3.10 б);
- *разположение на базовата повърхнина спрямо оста на въртене на обработвания детайл;*
- *форма на образуващите на профилните повърхнини на ножа.*



Фиг. 3.10. Профилни ножове в зависимост от формата (а) и направлението на подаването (б)

Призматичните ножове се използват за обработване на външни ротационни повърхнини. Те се закрепват чрез лястовича опашка в ножодържач. Конструкциите на ножодържачите са разнообразни и зависят от модела на струга.

Кръглите ножове се използват за обработване на външни и вътрешни ротационни повърхнини. Те имат ротационна форма, като от едната страна имат изрез за образуване на предната повърхнина и режещия ръб. Ножът се закрепва към струга с помощта на дорник или опашка.

Ножовете с радиално подаване се установяват така, че една или няколко точки от режещия ръб да се намират на височината на центрите на струга. В края на обработването едновременно реже целият режещ ръб на ножа, в резултат на което възникват големи сили на рязане. Ето защо ножовете с радиално подаване се използват при технологични системи с голяма мощност и стабилност.

Профилните ножове, работещи с осово подаване, се използват за обработване на едностранни профили без пръстеновидни канали, а също при обработване на челни профилни повърхнини.

Тангенциалните ножове се разполагат и подават тангенциално спрямо обработваната повърхнина на детайла. Режещият ръб е наклонен спрямо оста на въртене, което му дава възможност да навлиза постепенно в работа и да не реже с цялата си дължина. В резултат на това силите на рязане са по-малки, отколкото при обработване с радиални ножове. Точността на обработването не зависи от подаването, а от точността на настройване на ножа по височина. С един нож могат да се обработват повърхнини с различен диаметър, тъй като профилът на ножа не зависи от диаметъра на детайла. Тангенциалните ножове обаче се закрепват по-трудно, а геометричните параметри на режещата част се променят в широки граници. Тези ножове се препоръчват за обработване на нестабилни детайли с малка дълбочина на профила.

Задните ъгли на кръглите профилни ножове на участъците, на които режещият ръб е перпендикулярен на оста на ножа, са равни на нула. Това води до повишено триене между ножа и обработвания детайл и бързо износване по тези участъци. Същото явление се наблюдава и при призматичните ножове с базова повърхнина, успоредна на оста на въртене на детайла. За създаване на положителни задни ъгли по целия режещ ръб се използват *ножове с наклонено разположение на базата за закрепване спрямо оста на обработвания детайл под определен ъгъл*. Със същата цел *кръглите профилни ножове се изработват с винтова задна повърхнина*.

3.4. СТРУГОВИ МАШИНИ – ВИДОВЕ И ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ

Струговите машини са предназначени за обработване чрез струговане на ротационно-симетрични детайли, изградени от външни и вътрешни цилиндрични, конусни, профилни и челни повърхнини. При някои от детайлите струговането се явява единствената операция, при други струговането е първата операция, след която на други машини се извършват пробиване на отвори, нарязване на зъби, фрезование, дълбане, протегляне и други обработки.

Струговите машини заемат голям относителен дял в машинния парк (от 1/4 до 1/3 от всички металоурежещи машини). Съществуват различни видове стругови машини, които се различават по технологични възможности, конструктивно оформление, степен на автоматизация и типоразмер: универсални, многоножови, копирни, револверни, автомати с гърбично-лостово управление, специални, стругове с програмно управление, обработващи центри за ротационно-симетрични детайли и др.

3.4.1. Универсални стругове

Универсалните стругове притежават големи технологични възможности и са предназначени за обработване на ротационни (външни и вътрешни) и челни повърхнини, както и за нарязване на резби, пробиване на отвори, зенкерование, райберование и др. При окомплектоване със специални приспособления (например конусен линеал, приспособление за съгласуване на радиалното преместване на инструмента с въртеливото движение на детайла, хидрокопирно устройство) е възможно да се обработват конусни, квадратни, многостенни и спирални повърхнини, както и да се изпълняват технологични операции като фрезование, шлифование и др. Широките технологични възможности и ниската степен на автоматизация правят универсалните стругове ефективни в условията на единично и дребносерийно производство, както и при ремонтни дейности.

Главното движение на универсалните стругове е въртеливо и се осъществява от обработвания детайл, а инструментът извършва подавателните и установъчните движения по две взаимноперпендикулярни оси, които лежат в равнината на направляващите.

Едни от най-разпространените в България стругове са от фамилията *C11* (моделите *C11A*, *C11C*, *C11MB* и др.), като различията между тях в кинематично и конструктивно отношение са малки. Общият вид на универсален струг е показан на Фиг. 3.11. Корпусните и носещите елементи на струга са отлети от чугун. Всички преводи се задвижват от един електродвигател. От втори електродвигател се осъществяват само бързите установъчни премествания на супорта.

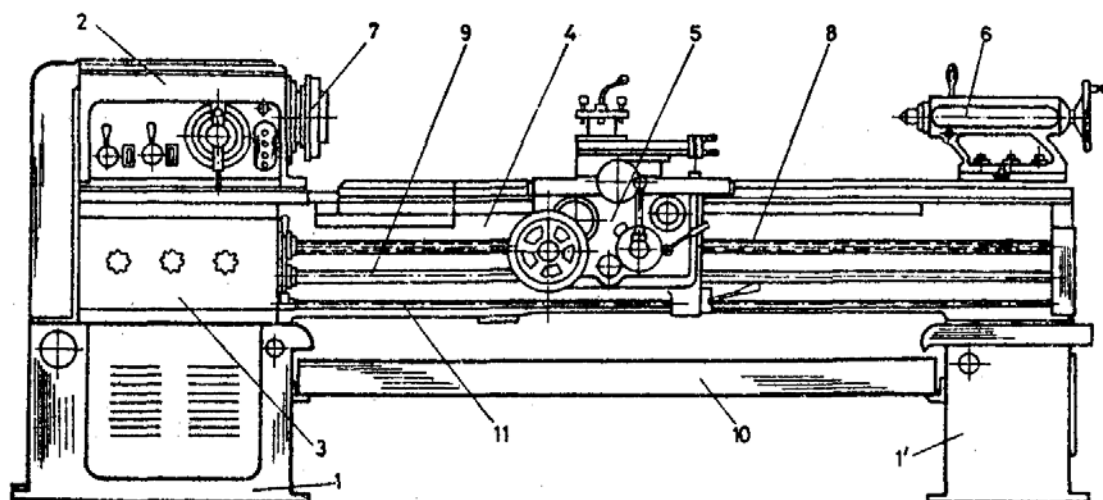
Приспособленията към универсалните стругове служат за установяване на обработвания детайл и инструмента и за автоматизиране на работния процес.

Установяването на обработваните детайли зависи от формата и размерите им (съотношение L/D на дължината към диаметъра) и от вида на обработваните повърхнини. Къси детайли ($L/D \leq 3$), като дискове и втулки, се установяват в патронник. За ротационни или симетрични детайли се използват тричелюстни или четиричелюстни самоцентриращи патронници, а за големи и

несиметрични детайли – четиричелюстни несамоцентриращи патронници (Фиг. 3.12 а, б). Дълги валове ($L/D > 5$), на които се обработват външните цилиндрични повърхнини, се базират между центри. Задният център може да бъде неподвижен или въртящ (Фиг. 3.12 в) и се присъединява към конусния отвор на пинолата на задното седло. Въртящият център се използва при обработване с големи честоти на въртене. С него се заменя триенето при плъзгане между повърхнините на центъра и центрования отвор с триене при търкаляне в лагерите. Точността на обработването е по-малка поради наличието на хлабини в лагерите на центъра. Предният център е неподвижен, като предаването на въртящия момент става от водеща шайба, закрепена неподвижно към фланеца на вретеното, чрез палец и хамут, който се затяга предварително към обработвания детайл (Фиг. 3.12 г). Установяването между центри позволява обръщане и обработване на детайла от двете страни, при което повърхнините се получават съосни. Това е възможно, защото върху челата на обработвания детайл са изработени центрови отвори с конусна базираща повърхнина. Валове могат да се установяват и в патронник, като се подпират със заден център. Използват се и цангови патронници, чието действие се основава на еластичните деформации на метална втулка (цанга), по чиято периферия са направени надлъжни канали (Фиг. 3.12 д). Предимство на този вид патронници е бързодействието им. Предназначени са за установяване на детайли с малки диаметри и обикновено са в комплект за определен диапазон размери.

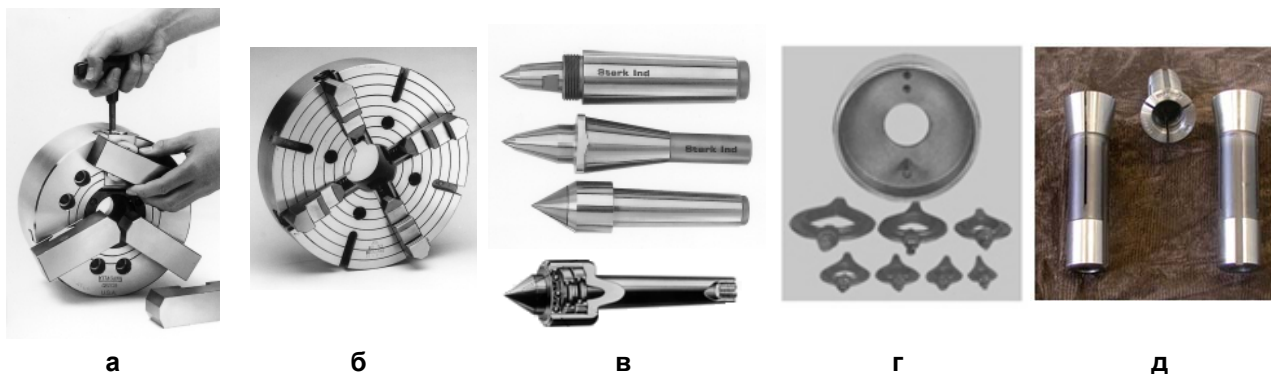
Установяването на детайли с предварително обработен точен отвор се осъществява с дорник. Използват се дорници с постоянен диаметър, дорници с конусност от 1:2000 до 1:4000 и раздвижни дорници. Дорниците се установяват на струга между центри (когато са дълги) или с конусната си опашка в отвора на вретеното.

За увеличаване на стабилността при обработване на дълги детайли с малък диаметър и за избягване на провисването по време на обработване се използват допълнителни опори, наречени люнети (неподвижни и подвижни).



Фиг. 3.11. Универсален струг

1 и 1' – тяло на струга; 2 – главен превод; 3 – подавателен превод; 4 – направляващи;
5 – супорт; 6 – задно подвижно седло; 7 – вретено; 8 – двигателен винт; 9 – двигателен вал;
10 – корито; 11 – вал за включване на главния съединител



Фиг. 3.12. Приспособления за установяване на детайли върху стругови машини
 а – универсален самоцентриращ патронник; б – несамоцентриращ патронник (планшайба);
 в – центри; г – водеща шайба с палец и хамути; д – цангови патронници

Стругарските ножове се закрепват в ножодържача на струга, а инструментите за обработване на отвори и резби с цилиндрична или конусна опашка – в отвора на пинолата на задното седло директно, чрез преходна втулка или чрез обикновен или специален патронник.

3.4.2. Продукционни стругове

Продукционните стругове са предназначени за аналогични обработки, както универсалните стругове, с изключение на нарязването на резби. Те са по-производителни и намират приложение в условията на дребно- и средно-сериенно производство.

По външен вид и кинематика продукционните стругове са близки до универсалните. Подавателната кутия е опростена, тъй като не е необходимо съгласуване на главното и подавателните движения.

Към конструкцията на продукционните стругове се предявяват по-високи изисквания по отношение на стабилността на основните възли, скоростта на подавателните движения, мощността на главното движение, наличие на индивидуално задвижване на подавателния превод, използване на електромагнитни съединители за автоматизиране на превключването на предавките. Налице са всички предпоставки за частична или пълна автоматизация на работния процес, както и възможности за многопроходна и многоножова обработка.

В зависимост от системата за автоматизация, продукционните стругове са с ръчно превключване или с управление чрез гърбици, които задействат микро-превключватели.

3.4.3. Копирни стругове

Копирните стругове са предназначени за обработване на детайли със сложен профил, като главното работно движение се извършва от детайла, а подавателните движения – от инструмента. За тях е характерно използването на модели или шаблони, чийто контур е еднакъв с този на обработвания детайл. При съчетаването на напречното и надлъжното движение на супорта се получава траектория на върха на ножа, точно описваща шаблона. Копирните системи, които се вграждат в струговете, за да се реализира този метод, могат да бъдат изградени на различен принцип – механичен, електрически или хидравличен.

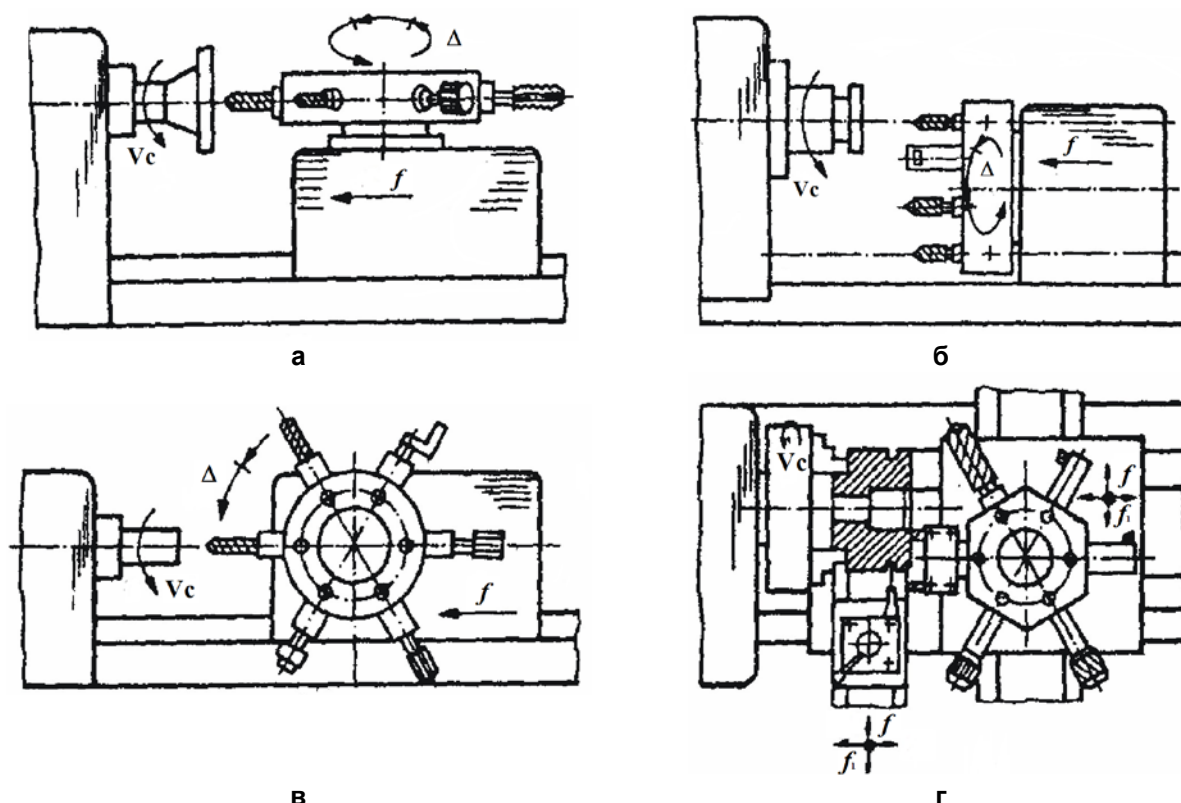
Копирните стругове имат по-ограничени технологични възможности в сравнение с универсалните стругове (не могат да извършват пробивни и резбонарязващи обработки), но са със значително по-висока степен на автоматизация и точност на формообразуването на сложни повърхнини. Копирните стругове са ефективни в условията на серийно, едросерийно и масово производство поради необходимостта от по-продължително време за пренастройване.

3.4.4. Революрни стругове

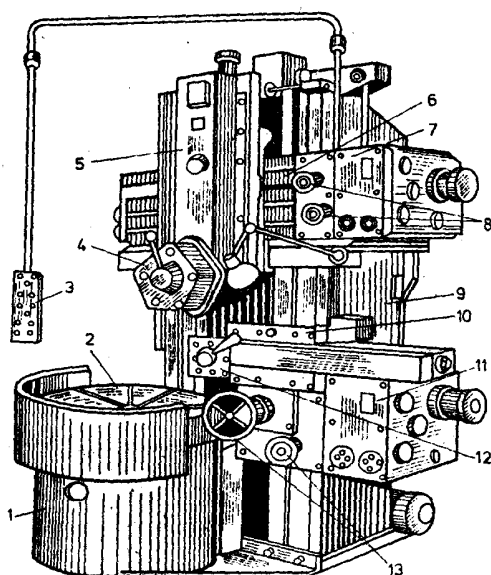
Революрните стругове са предназначени за обработване на патронникови детайли и на детайли, произвеждани от прътов материал, за чиято обработка е необходимо използването на различни операции и голям брой инструменти. Различават се от универсалните стругове по липсата на задно седло и ходов винт. Те имат надлъжен супорт, който носи революрна глава с голям брой инструментални гнезда. Обработваните детайли се затягат в патронници или цанги.

Според разположението на революрната глава революрните стругове са с вертикална (Фиг. 3.13 а) и с хоризонтална ос (Фиг. 3.13 б). Формата на революрната глава може да е кръгла (Фиг. 3.13 в) или призматична (Фиг. 3.13 г).

Основно предимство на революрните стругове е, че всички инструменти, необходими за обработване на даден вид детайли, се поставят и настройват предварително върху машината. В резултат в процеса на работа не се губи време за центроване, настройване и измерване, тъй като ходът на инструментите се ограничава от упори. Това прави използването на революрни стругове ефективно в условията на серийно производство.



Фиг. 3.13. Революрни стругове



Фиг. 3.14. Каруселен едностойков струг

1 – тяло; 2 – планшайба; 3 – табло за управление; 4, 12 – ножодържачи; 5, 10 – супорти; 6 – греда; 7, 11 – подавателни преводи; 8, 13 – колела за ръчно преместване на супортите; 9 – стойка

детайл (включително поставянето на обработвания и снемането на обработения детайл), се извършват без участието на оператора. При струговите полуавтомати поставянето на обработваните и снемането на обработените детайли се извършват от оператора на машината.

Струговите автомати и полуавтомати могат да са с широки технологични възможности или са специализирани, хоризонтални или вертикални, едновретенни или многовретенни. Те се използват за: обработване на ротационни детайли чрез външно струговане; пробиване на отвори; нарязване на резби; струговане на външни канали. Заготовките са от калиброван прътов материал.

Струговите автомати и полуавтомати намират приложение главно в масовото производство поради сложността и продължителността на пренастройването им. Типичното за тези металоурежещи машини е, че управлението се осъществява чрез предварително профилирани плоски или цилиндрични гърбици. Информацията, която се въвежда чрез гърбиците, се отнася до: геометрията на обработвания детайл; елементите на режима на рязане – скорост, подаване и дълбочина на рязане; последователността на работа на инструментите и смяната на детайлите (за автоматите). Управлението на тази информация изисква синхронизирано движение на всички гърбици.

• **Едновретенни стругови автомати**

Едновретенните стругови автомати са предназначени за обработване на детайли с малък диаметър (до $40 \div 50 \text{ mm}$), като се използват няколко последователно или успоредно работещи инструменти.

Едновретенните стругови автомати се подразделят на *револверни*, *профилноотрезни* и *надлъжнопрофилни*.

Профилноотрезните автомати са предназначени за обработване на детайли

3.4.5. Каруселни стругове

Каруселните стругове (Фиг. 3.14) се използват за обработване на голямогабаритни детайли с неголяма дължина. Върху тези машини могат да се изпълняват почти всички стругови обработки.

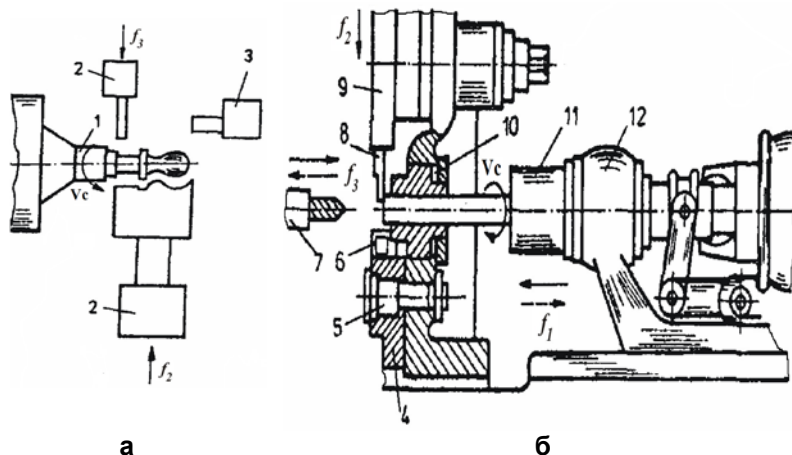
Каруселните стругове са с вертикална ос на вретеното, а хоризонталното разположение на масата (планшайбата) спомага за по-лесно закрепване на обработвания детайл и осигурява по-голяма точност на обработване. В зависимост от диаметъра на планшайбата каруселните стругове биват *едностойкови* (с диаметър до 1600 mm) и *двустойкови*.

3.4.6. Стругови автомати и полуавтомати

Струговите автомати са металоурежещи машини с главно въртливо движение, при които след настройване всички движения, свързани с цикъла на обработка на един

от прътов материал с малка дължина и максимален диаметър до 40 mm. Ефективни са за работа в условията на едросерийно и масово производство. Технологичната схема на работа на такъв автомат е показана на Фиг. 3.15 а. Обработваният детайл се установява във вретеното 1 посредством цанга. Супортите 2 осъществяват напречно подаване на режещите инструменти (профилни и отрязващи ножове). Прътовият материал се подава чрез специално устройство до упора 3.

Надлъжнопрофилните автомати са предназначени за обработване на детайли от прътов материал с голяма дължина и диаметър до 25 mm. Технологичната схема на работа на надлъжнопрофилен автомат е показана на



Фиг. 3.15. Технологични схеми на работа на профилноотрезен (а) и надлъжнопрофилен (б) едновретенен стругов автомат

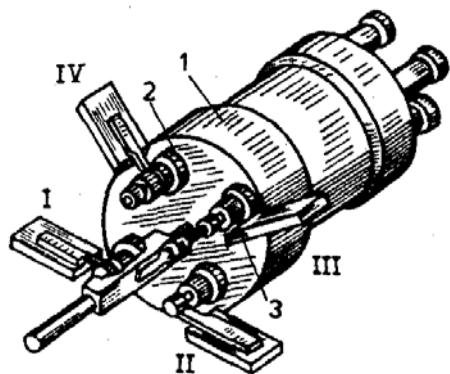
Фиг. 3.15 б. Тя включва: главно работно движение V_c на детайла, установен във вретеното 11; надлъжно подавателно движение f_1 на вретенната глава 12 (заедно с обработвания детайл, който се води чрез втулката 10) по направляващи; напречно подаване f_2 на супортите 4 и 9, върху които са закрепени съответно ножовете 6 и 8.

Ножът 8 може да се премества само в напречно направление и се използва при профилно обработване или отрязване.

Тези автомати обикновено имат няколко вертикални супорта и един люлеещ се супорт 4 (около ос 5), на който са закрепени два ножа 6. Тези супорти могат да извършват също профилна и отрезна обработка.

Операции от вида на пробиване, зенкерование, нарязване на резба с метчик или плашка се осъществяват с помощта на специални приспособления 7, които се установяват срещу вретенната глава.

Револверните автомати освен с напречни супорти са снабдени и с надлъжнореволверен супорт, в револверната глава на който могат да се поставят различни инструменти – свредла, зенкери, стругарски ножове, резбонарязващи инструменти и др.



Фиг. 3.16. Вретенен блок на многовретенен стругов автомат

• **Многовретенни стругови автомати**

Характерна особеност на многовретенните автомати е наличието на няколко едновременно работещи вретена. Основен възел на такъв автомат е вретенният блок 1 (Фиг. 3.16), в който са разположени вретената 2 с обработваните детайли 3. Вретенният блок периодично се завърта, като вретената заемат нова позиция. Във всяка позиция се изпълнява определена обработка със съответен режещ инструмент.

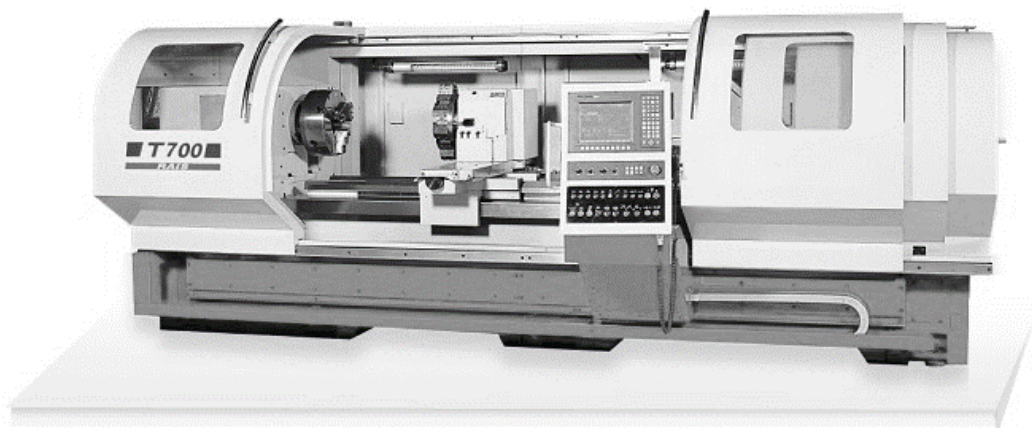
- **Многоножови стругови полуавтомати**

Многоножовите стругови полуавтомати имат надлъжен и напречен супорт, на всеки от които могат да се поставят по няколко инструмента. Тези полуавтомати се подразделят на центрови и патронникови. Върху многоножовите центрови полуавтомати се обработват детайли, чиято дължина е няколко пъти по-голяма от диаметъра им, а върху патронниковите – къси ротационни детайли с голям диаметър.

Едновременната работа на голям брой ножове, всеки от които обработва определен участък от обработвания детайл, дава възможност да се получи детайл със зададена форма и размери чрез прости и къси работни цикли и за кратко време. Намаляването на продължителността на обработване е за сметка главно на съвместяването на циклите и времето на работа на отделните ножове.

3.4.7. Стругове с ЦПУ

Струговете с ЦПУ (Фиг. 3.17) са предназначени за обработване на ротационно-симетрични детайли (валове, оси, патронникови детайли - фланци, дискове, заготовки за зъбни колела) с произволен профил, както и за нарязване на резби. Те са ефективни за работа в условията на дребно- и средносериенно производство.

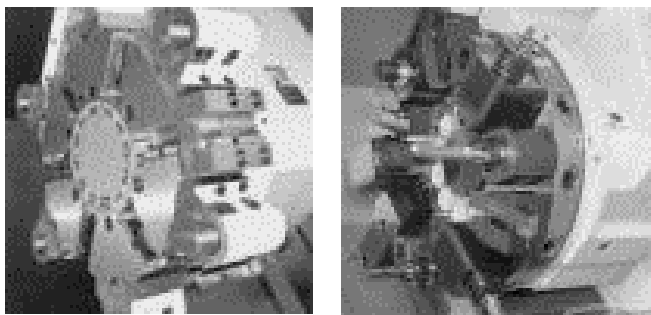


Фиг. 3.17. Струг с ЦПУ (модел Т700 РАИС [87])

Главното движение се извършва от детайла при използване на главния превод, който се задвижва от електродвигател с безстепенно регулиране (постояннотоков с тиристорно управление, асинхронен честотно регулируем).

Подавателните движения се получават от отделни, силно опростени вериги, които започват с електродвигатели с безстепенно регулиране (високомоментни, стъпкови и др.) и съдържат зъбно-ремъчни и сачмено-винтови предавки.

Независимо от конструктивната самостоятелност на отделните вериги, движенията, които те създават, могат да се съгласуват. Например надлъжното и напречното подавателно движение се съгласуват чрез линейна или кръгова интерполация. Това позволява чрез стъпково движение на инструмента по двете оси Z и X да се опише произволна траектория. По този начин могат да се обработват цилиндрични, челни, конусни и ротационни профилни повърхнини.



Фиг. 3.18. Револверни глави

Чрез съгласуване на главното с подавателното движение се осигурява възможност за обработване на резби.

Струговете с ЦПУ имат много-инструментални револверни глави – четири-, шест-, осем- дванадесет-, петнадесепозиционни (Фиг. 3.18). Най-голямо приложение намират осемпозиционните револверни глави.

Използват се револверни глави с вертикална, хоризонтална и наклонена ос на въртене, като инструментите се монтират в последователността, в която се използват според технологичния процес. Когато струговете са оборудвани с две независимо програмируеми револверни глави, в обработването на детайлите участват два инструмента едновременно. Смяната на инструмента се извършва чрез завъртане и фиксиране на главата или чрез нейното линейно движение (в случаите, когато няколко инструмента са монтирани в една позиция).

Разработени са револверни глави с ос, успоредна на оста на вретеното, върху които инструментите са монтирани по периферията и по челото на главата. По периферията се разполагат инструменти за външна обработка, а по челото чрез цилиндрични държачи - инструменти за вътрешна обработка и различни осови инструменти.

Значителна част (70÷75%) от детайлите, обработвани върху стругове с ЦПУ, изискват други методи на обработка, различни от струговане, като пробиване, нарязване на резба с метчик, фрезозане на странични повърхнини и канали. За да се намали времето за обработването им, е препоръчително да се обработват върху една машина, което елиминира времето за повторно установяване на детайла от машина на машина. Ако се инсталира въртящ инструмент в револверната глава, детайлите могат да бъдат напълно обработени на една машина. Практическата реализация на тази идея е довела до създаването на револверни глави със задвижвани позиции.

Струговите машини, окомплектовани с въртящи инструменти, са получили наименованието стругови центри. Те могат да са с една револверна глава с неподвижни и въртящи инструменти или с две револверни глави, една от които е с неподвижни инструменти, а другата – с въртящи инструменти. В една от въртящите позиции може да се установи патронник, позволяващ в процеса на обработване да се пребазира детайлът и да се обработи от двете страни. Често тези машини се снабдяват с две вретена, позволяващи да се освободи револверната глава за обработване.

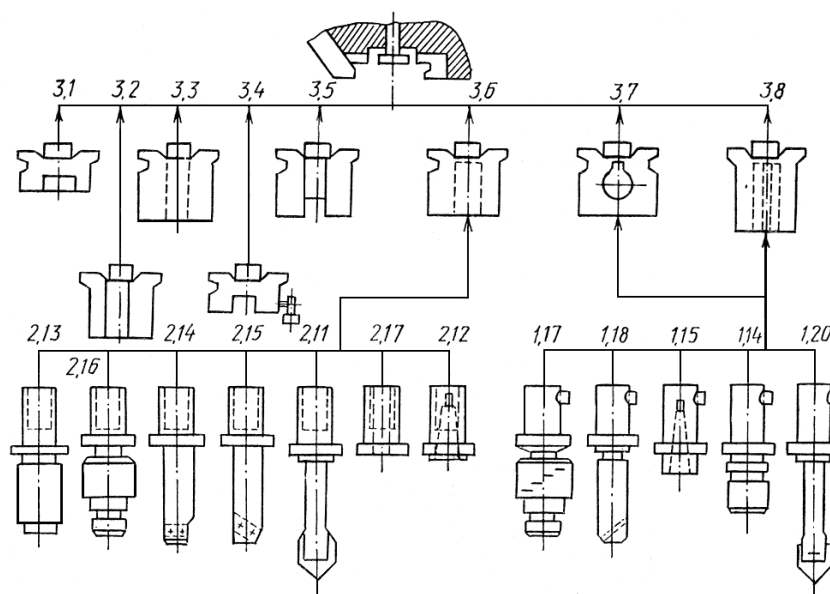
Тъй като револверната глава възприема силите на рязане, към нея се предявяват изисквания за висока якост, твърдост и точност на позициониране. Инструментите за обработване на вътрешни и външни повърхнини не трябва да пречат един на друг. Времето за смяна на инструмента трябва да бъде сведено до минимум. Смяната на инструмента трябва да бъде удобна и лесна, за което той трябва да е свободно достъпен.

Струговите машини с ЦПУ могат да са снабдени и с устройства за автоматична смяна на инструментите, състоящи се от инструментален магазин и манипулатор. Прилагането им има следните предимства: изключва възможността за сблъсък на инструментите, което опростява програмирането и настройването; позволява обработване на максимален брой повърхнини на една установка поради наличието на голям брой инструменти; осигурява възможност за смяна на инструментите в магазина по време на работа на машината, което минимизира подготвително-заклучителното време за смяна на комплекта инструменти.

Инструменталните магазини се използват при стругови центри с вертикална ос на вретеното. При машини с хоризонтална ос на шпиндела се използват предимно осемпозиционни револверни глави с хоризонтална ос на въртене.

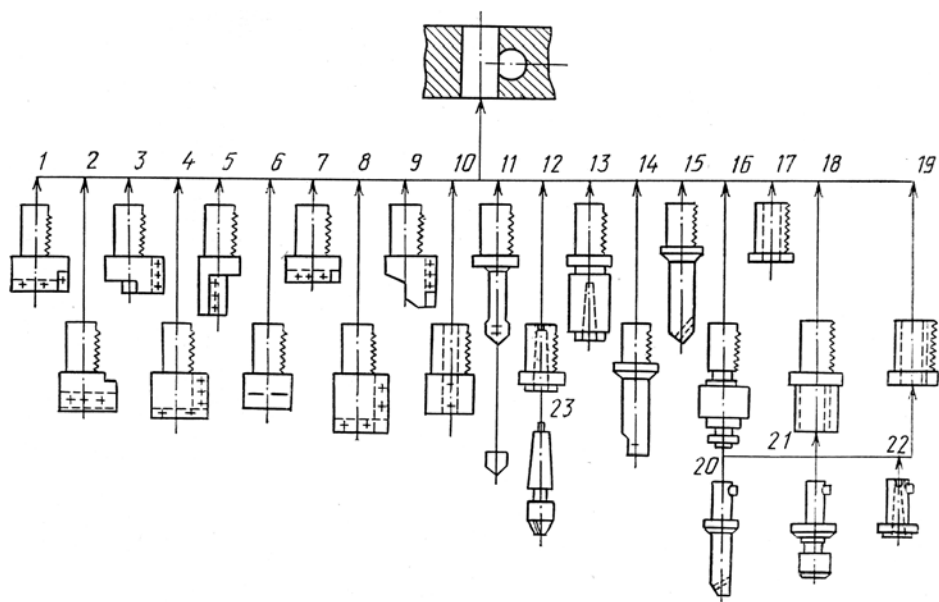
При работа на стругове с ЦПУ режещите инструменти могат да се монтират на револверната глава с помощта на спомагателни инструменти или с директен монтаж. Спомагателните инструмент трябва да осигуряват закрепване на ножове, свредла (с конусни и цилиндрични опашки), зенкери, райбери, метчици и плашки и да отговарят на следните основни изисквания: да са с висока твърдост; да гарантират висока точност и стабилност на базиране и закрепване на режещия инструмент; да позволяват извършването на всички технологични операции, предвидени от техническите характеристики на машината; да позволяват лесно и бързо инсталиране и сваляне на режещите инструменти; да са унифицирани по размер; да позволяват настройване на инструментите извън машината.

Спомагателните инструменти се разработват като системи, което позволява да се отчитат многообразието от конструкции и размери на режещите инструменти, както и необходимостта от намаляване на номенклатурата и разходите за производството и експлоатацията им. Системите за стругови машини с ЦПУ са с призматично (Фиг. 3.19) и с цилиндрично (Фиг. 3.20) захващане [35, 55].



Фиг. 3.19. Система от спомагателни инструменти с призматично присъединяване за стругови машини с ЦПУ [35, 55]

3.1÷3.3; 3.5÷3.8 – държачи; 3.4 – разпределител на СОТ; 2.11÷2.17 – режещ инструмент и преходни втулки, установявани в държач 3.6; 1.14, 1.15, 1.17, 1.18, 1.20 – режещ инструмент и преходни втулки, установявани в държачи 3.7 и 3.8



Фиг. 3.20. Система от спомагателни инструменти с цилиндрично присъединяване за стругови машини с ЦПУ [35, 55]

1÷9 – държачи; 10, 12, 13, 17÷19, 22 – преходни втулки; 11 – перово свредло; 14, 15, 20 – разстъргващи боршанги; 16, 21 – патронници за метчици; 23 – тричелюстен патронник

3.5. ОБРАБОТВАНЕ НА ДЕТАЙЛИ ВЪРХУ СТРУГОВИ МАШИНИ С ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ

Проектирането на стругови операции за машини с ЦПУ протича в следната последователност: разработване на технологична схема; избор на начин и средства за установяване на обработвания детайл; определяне на последователността на обработването; избор на режещи инструменти; избор на режим на рязане; определяне на координатните връзки и на траекториите на инструментите; разработване на управляваща програма; настройване на режещите инструменти; тестване и уточняване на програмата [35, 36].

• Технологична схема

Технологичната схема е графично представяне на технологичната операция или установка и отразява: установяването на обработвания детайл, като за всяка базова повърхнина се посочва броят на отнетите степени на свобода; обработваните повърхнини (с оцветени или удебелени линии), техните размери, гранични отклонения и грапавост; координатната система на детайла; скици на режещите части на инструментите с посочени вид, означение по стандарт, номер и използвани корекции в съответствие с управляващата програма; инструменталните координати. На технологичната схема детайлът се чертае във вида, получен след окончателното му обработване на съответната програмна операция или установка.

• Начин и средства за установяване

Изборът на начин за установяване зависи от: размерите на детайла и отношението на дължината и максималния му диаметър - L/D ; формата и състоянието на повърхнината, по която се базира; изискванията за точност на взаимното разположение на повърхнините на детайла. При стругова програмна операция се прилагат следните схеми на установяване: в патронник; между

центри; в патронник и център; в патронник и люнет; в цангово устройство; в специални приспособления. Използват се механизирани и автоматизирани средства за установяване, като най-често патронниците и цанговите устройства са с електромеханично, хидравлично или пневматично задвижване на челюстите.

Установяване в патронник се използва за установяване на къси детайли ($L/D < 3$) по външна или вътрешна повърхнина. Прилагат се патронници със закалени и незакалени (меки) челюсти. Закалени (сглобяеми или цели) челюсти се използват за закрепване на заготовки по необработени повърхнини. Незакалените (сглобяеми) челюсти осигуряват висока точност на установяване.

Установяване между центри се прилага при обработване на дълги ротационни детайли ($3 < L/D < 10$). При чисто струговане и при снемане на по-малки прибавки въртящият момент се предава от водеща шайба и хамут. При грубо струговане, особено на детайли с голяма маса, въртящият момент се предава от патронник с независимо движение на челюстите, снабден с плаващ център. Използва се и плаващ център с остри челни зъби. При натискане на детайла със задния център зъбите на предния център се вбиват в челната повърхнина на детайла, с което се създава възможност за предаване на въртящ момент и обработване на една установка на цялата дължина на детайла.

Установяването между патронник и център се извършва в тричелюстен самоцентриращ патронник с меки челюсти и въртящ център, установен в задното седло. Задължително условие е базирането в патронника да става по предварително стругована шийка, обработена при установяване между центри. Затова този начин на установяване не се препоръчва при окончателно струговане на валове.

Установяване в патронник и люнет се използва при обработване на дълги валове ($L/D > 10$). Люнетът е с механизирано задвижване и се задейства от командата в главната програма, от която се управлява и задното седло. По този начин могат да се обработват на една установка външните и вътрешните повърхнини на детайла.

Цанговото устройство е с механизирано закрепващо действие и автоматично подаване на обработвания детайл по направление на неговата ос. Използва се при надлъжно-профилни автомати с ЦПУ за обработване на детайли от прътов материал.

За установяване на тънкостенни и нестабилни детайли, както и за установяване по неротационни и по специални повърхнини (канални, резби и др.) се използват *нестандартни центри, нестандартни челюсти, специални приспособления, които се установяват върху вретеното на машината, патронника или плъншайбата.*

- **Последователност на обработването**

Обработването на детайли върху стругови машини с програмно управление се изпълнява на една или няколко установки. Препоръчителната последователност на преходите за всяка установка е: грубо обработване на основните повърхнини; получисто обработване на основните повърхнини; грубо обработване на допълнителните повърхнини; получисто и чисто

обработване на допълнителните повърхнини; чисто обработване на основните повърхнини; обработване на резби; фино обработване (калиброване) на повърхнините, за които се изисква висока точност. Към основните повърхнини се отнасят цилиндричните, челните и конусните повърхнини, повърхнините с криволинейна образуваща, технологичните канали, а към допълнителните - повърхнините, обработването на които изисква използването на специални инструменти - радиални и челни канали, канали под ъгъл спрямо оста, резби, винтови повърхнини.

Грубото обработване на основни повърхнини е външно и вътрешно. При грубо външно обработване се използват три схеми за изрязване на прибавката – с напречни ходове (когато разликата между диаметрите на голямото и малкото стъпало е по-голяма от дължината на малкото стъпало); с надлъжни ходове и обработване на челото с един напречен ход (когато разликата между диаметрите на голямото и малкото стъпало е по-малка от дължината на малкото стъпало); комбинирано с надлъжни и напречни ходове.

Грубото вътрешно обработване се реализира по аналогичен начин. При обработване на плътни заготовки то започва с центроване с центрово свредло и свредловане. Препоръчва се свредловането да се реализира в подготвителните операции върху конвенционални машини, т.к. свредловането с винтови свредла е нископроизводително, с лоша надеждност при автоматична работа. При разстъргване на дълбоки отвори, когато диаметърът на обработваната повърхнина е близък до диаметъра на борщангата, отделянето на стружките се затруднява. В тези случаи се препоръчва постепенно разширяване на отвора, като прибавката се разделя на зони в осово направление.

Чистото обработване на основни повърхнини чрез струговане се осъществява в надлъжно или напречно направление, по външен или вътрешен контур, като се използва нож за копирно струговане. Обработването е окончателно за всички основни повърхнини с допуск на размера над $0,1\text{ mm}$. За повърхнините, изискващи фино струговане на същата операция, се оставя прибавка от $0,1\text{ mm}$ до $0,2\text{ mm}$. Обработването чрез обхождане на целия контур осигурява запазване на точността на взаимното разположение на повърхнините независимо от степента на износване на инструмента.

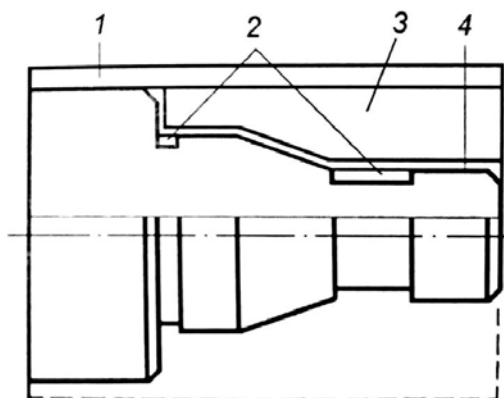
Обработването на канали се реализира: за един ход с размерен инструмент (прорязващ нож) с широчина, равна на широчината на канала, и с профил, съответстващ на профила на канала; многоходово с неразмерен инструмент, размерите, а понякога и формата на който не съвпадат с тези на канала; чрез обхождане на контура на канала. Обработването на канали с повишена точност на широчината се извършва с два инструмента – за грубо и чисто струговане, като за чисто струговане се оставя прибавка $0,2\div 0,3\text{ mm}$ на страна. При обработване на дълбоки канали се осъществява периодично прекъсване на работния ход за чупене на стружката и облекчаване на стружкоотделянето. Препоръчват се разделяне на прибавката по дълбочина и задържане в края на работния ход за $0,5\div 1\text{ s}$ с цел отстраняване на отклоненията от силови деформации и намаляване на грапавостта на дъното на канала.

Многопроходното обработване на резба се реализира с резбонарязващ нож с

профил, съответстващ на профила на обработваната резба, и се състои от няколко груби прохода и един чист (контурен) с неголяма прибавка. Обработването се реализира: с радиално преместване на резбонарязващия нож под ъгъл спрямо направлението на винтовата повърхнина, като ножът се връзва перпендикулярно на направлението на винтовата повърхнина (в рязането участват едновременно двата режещи ръба на инструмента, стружкообразуването е затруднено, а силата на рязане е увеличена) или в направление на една от страните на профила на резбата (осигурява добро стружкообразуване, но износването на режещите ръбове на инструмента е неравномерно); с преместване на ножа последователно по всяка една от страните на профила, като се осигуряват добро стружкообразуване и равномерно износване на инструмента.

- **Схеми за обработване** [35, 36, 58]

В зависимост от изискванията за грапавост и точност на обработената повърхнина, вида на режещия инструмент и начина на установяване обработваната област, заключена между контура на обработвания и обработения детайл, се разделя на зони - груби (за снемане на по-голямата част от прибавката) и контурни



Фиг. 3.21. Зони на обработваната област

1 - открит; 2 – закрит;
3 – полуоткрит; 4 - контурна

(Фиг. 3.21). Всяка зона е ограничена от затворен контур, състоящ се от два участъка – основен и спомагателен. Основният участък остава след обработване на дадената зона.

Грубите зони изискват многопроходно обработване. Те се разделят на открити, полуоткрити и закрити (Фиг. 3.21).

За обработване на груби зони се използват четири типови схеми (Фиг. 3.22):

- схема „бримка” (Фиг. 3.22 а) - използва се при построяване на траекторията на инструменти, предназначени за едностранно обработване (например проходни ножове);

- схеми „зиг-заг” и „навивка”

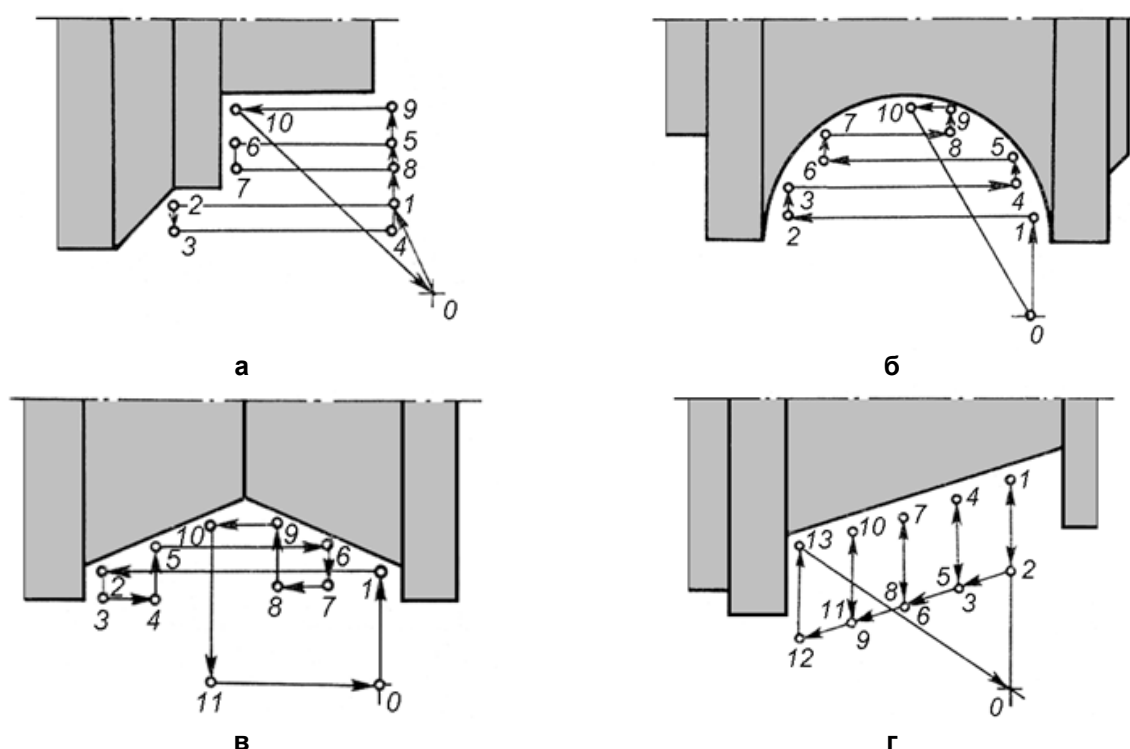
(Фиг. 3.22 б, в) – прилагат се за обработване на закрити зони с ножове, допускащи рязане в двете посоки (с режещи ръбове от двете страни);

- схема „спускане” (Фиг. 3.22 г) - използва се за снемане на материал в области, в които е невъзможна работата на по-производителни инструменти – например при обработване на канали.

Контурните зони (Фиг. 3.21) съдържат в себе си прибавката за получиста или чиста обработка. Към тях се отнасят и зоните за обработване на винтови повърхнини. Проходите в тези зони са еквилибриранти на контура на детайла.

- **Режещи инструменти**

При работа върху стругове с ЦПУ се използват сглобяеми инструменти за обработване на външни, челни и вътрешни повърхнини, прорязване на канали, нарязване на резби, както и инструменти за обработване на отвори (центрови свредла, класически и сглобяеми свредла и др.). Броят и видът на инструментите се определят в съответствие с технологичната схема за дадената операция.



Фиг. 3.22. Типови схеми за обработване на груби зони [35, 36]

**а – схема „бримка“; б – схема „зиг-заг“;
в – схема „навивка“; г – схема „спускане“**

Изборът на режещ инструмент за струговане зависи от повърхнините, които образуват контура на даден детайл. За обработване на основните външни цилиндрични, конусни и челни повърхнини в повечето случаи се използват проходни ножове за грубо и чисто (контурно) струговане, които в зависимост от посоката на подавателното движение са десни и леви.

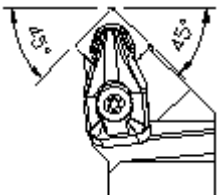
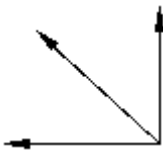
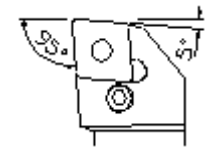
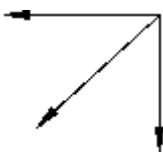
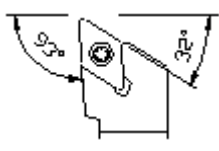
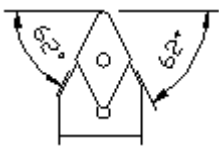
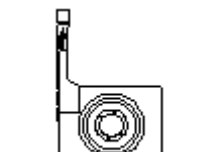
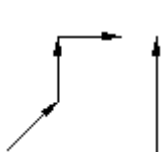
За обработване на основни вътрешни повърхнини се използват центрови и спирални свредла, както и разстъргващи ножове – за грубо и чисто (контурно) струговане. Размерите на разстъргващите инструменти се задават в съответствие с диаметъра и дължината на вътрешните повърхнини на детайлите. Не се препоръчва използването на зенкери и райбери за обработване на отвори на стругове с ЦПУ. Те са рентабилни само при обработване на големи партии детайли или на отвори с малък диаметър.

За обработване на допълнителни повърхнини се използват отрязващи (прорязващи) ножове (външни, вътрешни, челни, за ъглови канали), както и резбонарязващи ножове за външни и вътрешни метрични и цолови резби.

При избора на режещи инструменти особено внимание трябва да се обърне на материала на режещата част, както и на големината на главния и спомагателния установъчен ъгъл, предния ъгъл, задния ъгъл и на радиуса при върха на ножа. Препоръчва се използването на инструменти с механично закрепени режещи пластини от металокерамика, минералокерамика и свръхтвърди материали, с и без покритие. Правилно е да се избира стандартен инструмент с проста геометрия, извършващ сложни движения, т.к. в системите за ЦПУ има линейно-кръгов интерполатор, с който може да се опише произволна траектория. Могат да се използват и профилни инструменти, работещи по метода на копиране.

Най-често използваните стругарски ножове за работа върху стругове с ЦПУ са представени в Таблица 3.1.

Таблица 3.1. Основни видове стругарски ножове, използвани при обработване на детайли върху стругове с ЦПУ

Вид на ножа	Форма на работната част	Направление на работните премествания	Приложение
Проходен			Външно обстъргване, подрязване на чела, обработване на фаски
Упорно-проходен			Обработване на цилиндрични, радиусни и преходни повърхнини и подрязване на чела при движение на ножа от центъра към периферията (външния диаметър) на детайла
Контурен			Обработване на цилиндрични, конусни (обратен конус с ъгъл до 30°), радиусни и преходни повърхнини и подрязване на чела при движение на ножа от центъра към периферията (външния диаметър) на детайла
Контурен			Обработване на цилиндрични, полусферични и конусни (обратен конус с ъгъл до 57°) повърхнини
Отрязващ (Прорязващ)			Обработване на канали, цилиндрично струговане на дъната на канали с осово подаване, обработване на фаски

• Режим на рязане

Определянето на режима на рязане при обработване на детайли върху стругови машини с ЦПУ се извършва както при обработване върху конвенционални металорежещи машини. Инструментите с механично закрепени режещи пластини позволяват работа с висока скорост на рязане, тъй като при износване се заменят бързо и точно (тези инструменти са с трайност от 15 min до 30 min).

Съвременните стругове с ЦПУ имат възможност за безстепенно изменение на честотата на въртене на вретеното, което позволява да се работи с постоянна скорост на рязане. Това, заедно с безстепенното изменение на подаването при тези машини, създава условия за използване на оптимални режими на рязане.

Обработването на отвори се извършва върху различни машини и по различни методи:

- ✓ свредловане, разсвредловане, зенкерование и райберование върху пробивни, радиално-пробивни, пробивно-разстъргващи, стругови и фрезови машини;
- ✓ разстъргване върху радиално-пробивни, пробивно-разстъргващи и стругови машини;
- ✓ протегляне върху протеглящи машини;
- ✓ контурно фрезование върху пробивно-разстъргващи-фрезови машини с ЦПУ.

4.1. СВРЕДЛОВАНЕ, ЗЕНКЕРОВАНЕ И РАЙБЕРОВАНЕ

4.1.1. Технологични възможности

Свредловането, зенкерването и райберването са основни процеси за обработване на отвори (Фиг. 4.1). Те се прилагат в единичното и серийното производство, когато отворите са с неголеми диаметри. Прилагането им зависи от изискванията за точност и грапавост на повърхнините на обработените отвори.

Свредловането е процес на рязане за получаване на отвори в плътен материал и за увеличаване на диаметъра на съществуващи отвори (разсвредловане). Отворите с диаметър до 30 mm се свредловат направо, а отворите с по-голям диаметър (30 ÷ 100 mm) първоначално се свредловат с по-малък диаметър, а след това се разсвредловат. При свредловане и разсвредловане се постигат 13 ÷ 12 степен на точност и грапавост на повърхнините $Ra = 5 \div 20 \mu m$ [6, 48]. Невисоката точност се дължи на биенето на свредлото.

Инструментите за свредловане, наречени *свредла*, са осови инструменти, които по предназначение и конструктивни особености се подразделят на винтови, перести, центрови, за дълбоко пробиване, за пръстеновидно пробиване и твърдосплавни (т. 4.1.3.2 А).

Зенкерването е процес на рязане, който се прилага за разширяване на отвори и за обработване на цилиндрични, конусни или челни повърхнини, прилягащи към цилиндрични отвори. При зенкерование се подобряват точността, грапавостта и формата на обработената повърхнина, получена от предходно обработване чрез коване, леене или свредловане. Обикновено се постигат 12 ÷ 11 степен на точност и грапавост на повърхнините $Ra = 2,5 \div 5 \mu m$ [6, 48].

Инструментите за зенкерование, наречени *зенкери*, са осови инструменти, които в зависимост от вида на обработваните повърхнини биват цилиндрични, конусни и челни (т. 4.1.3.2 Б).

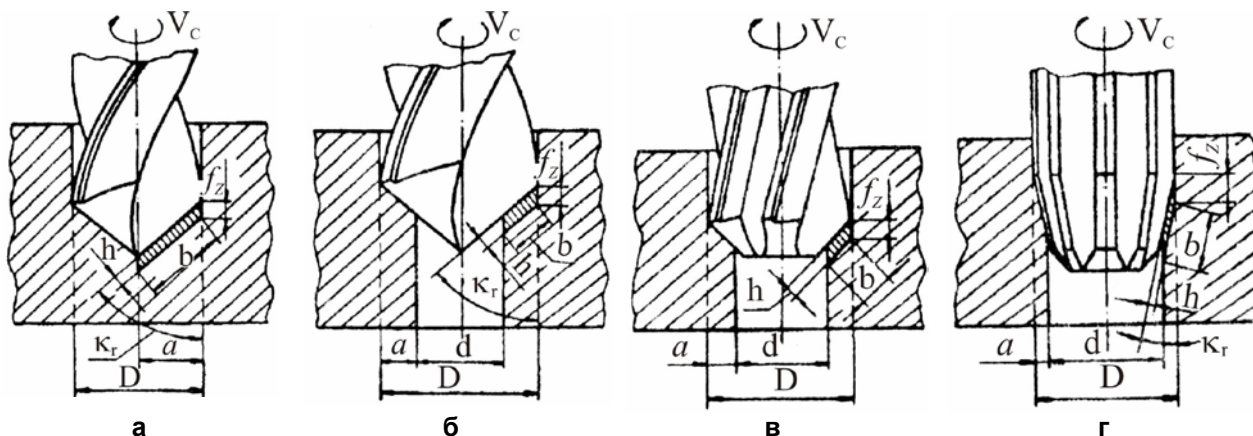
Райберването е процес за окончателно обработване на цилиндрични и конусни отвори. Отворите, които се райбероват, първоначално се свредловат или разсвредловат, зенкероват или разстъргват. Райберването е грубо

(предварително) или чисто (окончателно). При райбероване най-често се постигат $11 \div 7$ степен на точност на диаметрите и грапавост на повърхнините $Ra = 0,2 \div 1,25 \mu m$ [6, 48]. Голямата точност и малката грапавост се дължат на достатъчно точното предварително обработване на отвора, малката дебелина на срязвания слой материал, относително малкото силово натоварване на технологичната система и голямата точност на режещия инструмент.

При райбероване се увеличават точността на формата в напречно и надлъжно сечение и точността на диаметъра и се подобрява грапавостта на обработената повърхнина. Тъй като се сваля малка прибавка, не е възможно да се изправи грешката в разположението на оста на отвора, допусната при предходните преходи. Поради това е желателно райберът да се направлява свободно по обработвания отвор. За тази цел се използват специални патронници, осигуряващи две степени на свобода на инструмента.

Инструментите за райбероване, наречени *райбери*, според предназначението си се подразделят на цилиндрични, конусни и котелни, а според начина на реализиране на необходимите движения – на ръчни и машинни. Райберите се изработват от инструментална стомана или твърдосплавни материали. Биват цели, съставни и с разглобяеми конструкции (т. 4.1.3.2 В).

Свредловането, разсвредловането, зенкерването и райбероването се реализират чрез комбиниране на две работни движения – главно въртеливо и подавателно праволинейно-постъпателно, извършвано по оста на въртеливото движение (Фиг. 4.1). Тези движения се изпълняват от инструмента, обработвания детайл или комбинирано, което се определя от кинематиката на металорежещата машина.



Фиг. 4.1. Кинематични схеми на рязане при обработване на отвори
а – свредловане; б – разсвредловане; в – зенкерване; г – райбероване

При обработване на отвори върху стругови машини главното движение се извършва от обработвания детайл, а подавателното – от инструмента. При обработване на отвори върху пробивни, радиално-пробивни, пробивно-разстъргващи и фрезови машини главното движение се извършва от инструмента, а подавателното – от инструмента или обработвания детайл. За постигане на висока точност при свредловане се препоръчва инструментът да извършва подавателното движение, а обработваният детайл – главното. За да се създадат

по-големи или по-малки честоти на въртене от тези, които може да осъществи главният превод на револверни автомати и някои други машини, се използва сумиране на две въртеливи движения – на инструмента и на обработвания детайл. Тези движения могат да бъдат еднопосочни или разнопосочни.

В процеса на рязане при свредловане, зенкерование и райберование се получават сумарна подавателна (осова) сила F_f и сумарен въртящ момент M_c :

$$F_f = C_{F_f} f^{y_{F_f}} D^{z_{F_f}} K_{F_f}; \quad (4.1)$$

$$M_c = C_{M_c} f^{y_{M_c}} D^{z_{M_c}} K_{M_c}, \quad (4.2)$$

където: C_{F_f} и C_{M_c} - константи, отразяващи влиянието на обработвания и инструменталния материал; y_{F_f} , y_{M_c} , z_{F_f} и z_{M_c} - степенни показатели, отразяващи съответно влиянието на подаването f и на диаметъра D на инструмента ($y_{F_f} \approx y_{M_c}$; $z_{M_c} \gg z_{F_f}$); K_{F_f} и K_{M_c} - общи поправъчни коефициенти, отчитащи изменените механични показатели на обработвания материал, износването на инструментите, формата на заточването им и използването на СОТ спрямо еталонните данни, взети от справочници [48].

За осъществяване на процеса на рязане е необходимо осовата сила да е равна или по-малка от подавателната сила на машината, а моментът на рязане да е равен или по-малък от двигателния въртящ момент.

4.1.2. Режим на рязане

А. Елементи на режима на рязане и на срязвания слой материал

Елементите на режима на рязане при свредловане, разсвредловане, зенкерование и райберование са: *скорост на рязане; подаване; дълбочина на рязане.*

Скоростта на рязане V_c , m/min се определя от максималния диаметър на инструмента D по зависимост (1.4), т.е. тя е равна на окръжната скорост на точката от режещия ръб, разположена върху най-големия диаметър на инструмента. В действителност различните точки от режещия ръб имат различни скорости. За точките, разположени върху оста на въртене на инструмента, скоростта е нула.

Инструментите за обработване на отвори са многозъби и въртящи, на което се дължи наличието на *подаване на зъб* f_z , *подаване на оборот* f и *минутно подаване* f_m , връзката между които се определя от зависимости (1.7) и (1.8). Подаването на зъб f_z , mm/z е равно на осовото преместване на всеки зъб при завъртане на инструмента на ъгъл ξ , равен на централния ъгъл на зъбите. Подаването на оборот f , mm/rev е равно на осовото преместване на инструмента за едно негово завъртане, а минутното подаване f_m , mm/min - на осовото преместване на инструмента за една минута.

Дълбочината на рязане a , mm се определя от диаметрите D на обработената и d на обработваната повърхнина: $a = 0,5D$ - при свредловане; $a = 0,5(D - d)$ - при разсвредловане, зенкерование и райберование.

Физичните елементи на срязвания слой материал (дебелина h и ширина b) се определят по следните зависимости (Фиг. 4.1):

- при свредловане - $h = 0,5 f \sin \kappa_r$; $b = D / (2 \sin \kappa_r)$;
- при разсвредловане - $h = 0,5 f \sin \kappa_r$; $b = (D - d) / (2 \sin \kappa_r)$;
- при зенкерование и райберование - $h = (f / z) \sin \kappa_r$; $b = (D - d) / (2 \sin \kappa_r)$.

Б. Определяне на режима на рязане

Режимът на рязане при обработване на отвори се определя в същата последователност, както при струговане, като се отчитат особеностите на процесите и изискванията за точност и грапавост на обработената повърхнина.

• *Определяне на дълбочината на рязане*

При свредловане на недълбоки отвори с малки изисквания по отношение на точността на размерите и грапавостта на повърхнините се използва свредло с диаметър, равен на диаметъра на отвора ($a = D/2$). Когато $D > 30 \text{ mm}$, предварително се свредлова отвор с $D_i \approx 0,3D$. При свредловане на точни отвори диаметърът на свредлото се избира с оглед получаване на необходимата прибавка за следващите процеси.

Дълбочината на рязане при зенкерование и райберование е равна на прибавката Z , определена от диаметрите на обработения и обработвания отвор. Тя се избира, както следва: при зенкерование - $0,5 \div 2 \text{ mm}$; при предварително райберование - $0,07 \div 0,25 \text{ mm}$; при окончателно райберование - $0,04 \div 0,1 \text{ mm}$.

• *Определяне на подаването*

Големината на подаването при свредловане се определя от якостта на свредлото и на най-слабото звено на подавателния механизъм на машината, а при зенкерование и райберование – от точността и грапавостта на обработената повърхнина.

1. Определяне на допустимото подаване от якостта на свредлото

За изпълнение на условието за якост $\tau_{\max} \leq [\tau]$ при $\tau_{\max} = 1,7\tau = 1,7 \frac{M_c}{W_p}$ е

необходимо:

$$f_1 \leq \sqrt[3]{\frac{0,02[\tau]}{1,7C_{M_c}K_{M_c}}} D^{3-z_{M_c}} = C_f D^{x_f}, \text{ mm / rev}, \quad (4.3)$$

където: $[\tau]$ - допустимо тангенциално напрежение, MPa ; $W_p = 0,02D^3$ - полярен съпротивителен момент за винтови свредла, mm^3 ; x_f - степенен показател, отразяващ влиянието на диаметъра на свредлото (препоръчва се $x_f = 0,6$); C_f - коефициент, който зависи от твърдостта на обработвания материал, точността на отвора и стабилността на обработвания детайл.

Върху подаването f_1 оказва влияние и отношението на дължината към диаметъра на обработвания отвор (L/D), което се отчита с поправъчен коефициент K_{Lf} .

2. Определяне на допустимото подаване от якостта на подавателния механизъм

За изпълнение на условието за якост $F_f \leq [F_f]$:

$$f_2 \leq \sqrt[y_{F_0}]{\frac{[F_f]}{C_{F_0} D^{z_{F_0}} K_{F_0}}}, \text{ mm / rev}, \quad (4.4)$$

където: $[F_f]$ - допустимата сила на подавателния превод на пробивната машина, N .

Технологичното подаване $f_{\text{техн}}$ е по-малко от f_1 и f_2 . То ограничава подаването на машината f_m , като се спазва условието $f_m \leq f_{\text{техн}}$.

При разсвредловане подаването се избира $1,5 \div 2,0$ пъти по-голямо от това при свредловане.

Подаването при зенкерование е по-голямо от това при свредловане, а при райберование е още по-голямо, т.к. условията на работа са по-благоприятни и освен това инструментите имат повече режещи зъби.

• Определяне на скоростта на рязане

Технологичната скорост на рязане се ограничава от режещата способност на инструмента. Тя се определя със следните зависимости:

- за свредловане:

$$V_{cT} = \frac{C_{V_c} D^{z_{V_c}}}{T^m f^{y_{V_c}}} K_{V_c}, \text{ m/min}; \quad (4.5)$$

- за разсвредловане, зенкерование и райберование:

$$V_{cT} = \frac{C_{V_c} D^{z_{V_c}}}{T^m a^{x_{V_c}} f^{y_{V_c}}} K_{V_c}, \text{ m/min}, \quad (4.6)$$

където: C_{V_c} - коефициент, зависещ от свойствата на обработвания материал и условията на процеса рязане;

m , x_{V_c} , y_{V_c} и z_{V_c} - степенни показатели ($x_{V_c} = 0$ при свредловане и $x_{V_c} \neq 0$ при зенкерование и райберование);

K_{V_c} - поправъчен коефициент, равен на произведението от коефициентите, отчитащи влиянието на обработвания и инструменталния материал, дължината на обработвания отвор, геометричните елементи и формата на заточване на инструмента, смазочно-охлаждащата течност, допустимия размер на износване, отношението на дължината към диаметъра на обработвания отвор (L/D).

Трайността на свредлата, зенкерите и райберите зависи от диаметъра и материала на инструмента, както и от вида на обработвания материал.

От равенството на кинематичната и технологичната скорост на рязане ($V_c = V_{cT}$) се определя честотата на въртене:

$$n_{(T)} = \frac{10^3 V_{cT}}{\pi D}, \text{ min}^{-1}. \quad (4.7)$$

Скоростта на рязане се ограничава и от мощността на пробивната машина в съответствие с условието:

$$\frac{M_c n}{9550} \leq P_{ef}, \quad (4.8)$$

където $P_{ef} = P_m \eta$ е ефективната мощност на машината.

След заместване на зависимост (4.2) за определяне на момента на рязане M_c във формула (4.8) се получава допустимата честота на въртене на инструмента:

$$n_{(p)} \leq \frac{9550 P_m \eta}{C_{M_c} D^{z_{M_c}} f^{y_{M_c}} K_{M_c}}. \quad (4.9)$$

Честотата на въртене се избира така, че да е изпълнено условието $n_m \leq n$, където $n = \min(n_{(T)}, n_{(p)})$.

С така определените елементи на режима на рязане се определя времето на рязане t_c :

$$t_m = \frac{L_p}{f_m n_m}, \min, \quad (4.10)$$

където L_p е дължина на работния ход на инструмента, която включва дължина за врязване $L_1 = a \cdot \cotg \kappa_r$ и дължина за излизане на инструмента $L_2 = 2 \div 5 \text{ mm}$ съответно в и от обработвания детайл. Ако отворът се обработва последователно чрез свредловане, разсвредловане, зенкерование и райберование, времената на рязане се изчисляват поотделно по формула (4.10) със съответните стойности на L_p , n_m и f_m .

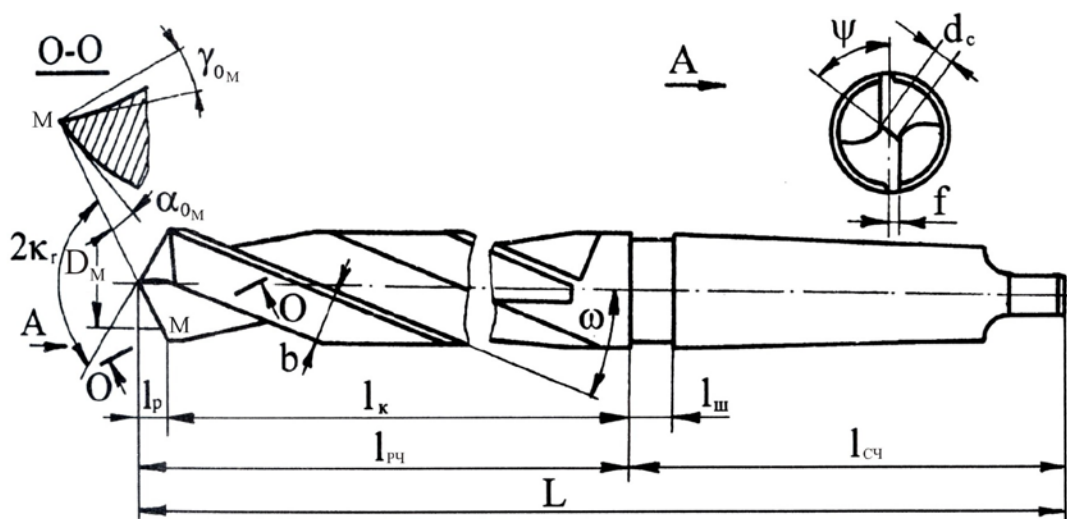
4.1.3. Режещи инструменти за обработване на отвори

4.1.3.1. Конструктивни и геометрични елементи на инструменти за обработване на отвори [23, 24, 55, 57]

Инструментите за обработване на отвори са свредла, зенкери и райбери. Тези инструменти са въртящи и се характеризират с това, че са осови (оста на инструмента и оста на отвора съвпадат), размерообразуващи (диаметърът на инструмента и диаметърът на отвора са равни) и многозъби (инструментите имат два и повече от два режещи зъба). Те имат толкова предни повърхнини A_γ , задни повърхнини A_α и режещи ръбове S , колкото е броят на зъбите. Между зъбите на инструментите се намират стружкови канали с достатъчно големи обеми за побиране и отвеждане на стружките.

А. Конструктивни и геометрични елементи на винтови свредла

Винтовите свредла са най-разпространеният тип свредла (Фиг. 4.2), които се използват за свредловане и разсвредловане на отвори с диаметър до 100 mm. Те се състоят от работна част, изградена от две части – режеща (l_p) и калибровача (l_k), шийка ($l_{ш}$) и опашка.



Фиг. 4.2. Конструктивни и геометрични елементи на винтово свредло

Опашката е цилиндрична или конусна и се използва за закрепване на свредлото към машината. С цилиндрична опашка се изработват свредла с диаметър $D = 0,25 \div 30 \text{ mm}$, а с конусна – такива с диаметър $D = 6 \div 100 \text{ mm}$.

Режещата част на свредлата има два режещи зъба ($z = 2$). Рязането се осъществява от два *главни режещи ръба*, свързани помежду си с един *напречен режещ ръб*, и два *спомагателни режещи ръба*, които съвпадат с калибровачите.

Главните режещи ръбове най-често са праволинейни и симетрични по отношение на оста на свредлото. Те включват *ъгъла при върха* $2\kappa_r$, големината на който зависи от свойствата на обработвания материал и се изменя в границите $80 \div 140^\circ$ (най-често е $116 \div 120^\circ$). Двата главни режещи ръба се съединяват със сърцевина, която определя здравината на свредлото, дължината на напречния режещ ръб и големината на стружковото пространство (Фиг. 4.2, изглед А).

Напречният режещ ръб се получава от пресичането на задните повърхнини на режещата част. Неговото положение се определя спрямо главните режещи ръбове с *ъгъла на наклона на напречния режещ ръб* ψ .

Калибровачната част е необходима за направляване на свредлото в процеса на работа и осигуряване на точността на обработване на отвора. Тя служи и като резерв за презаточване. Напречното ѝ сечение е изградено от два режещи зъба, формирани чрез прорязване на два винтови стружкови канала. Всеки зъб има цилиндрична калибровача лентичка с широчина f и височина h , явяваща се спомагателна задна повърхнина. За намаляване на триенето диаметърът на калибровачната част намалява в посока към опашката с $0,03 \div 0,1 \text{ mm}$ на всеки 100 mm , а за увеличаване на якостта и стабилността на свредлата диаметърът на сърцевината d_c се увеличава с $1,5 \div 1,75 \text{ mm}$ на всеки 100 mm . По-големите стойности се използват при винтови свредла с по-големи диаметри.

Калибровачите режещи ръбове са винтови и се образуват от пресичането на повърхнините на винтовите стружкови канали и цилиндричната калибровача лентичка. Те са наклонени спрямо оста на свредлото под ъгъл ω

($\omega = 10 \div 45^\circ$ и се избира в зависимост от физико-механичните свойства на обработвания материал).

Каналите и зъбите се изработват винтови за по-лесно отвеждане на стружката и осигуряване на предните ъгли на свредлото. Наклонът на винтовите канали трябва да съвпада с направлението на главното въртливо движение на рязане. Нормално този наклон е десен. Леви свредла се произвеждат за стругови автомати с обратна (лява) посока на въртене на вретеното.

Основните геометрични елементи на винтовите свредла са: *предни ъгли* (главен преден ъгъл γ_o , страничен преден ъгъл γ_f); *задни ъгли* (главен заден ъгъл α_o , страничен заден ъгъл α_f); *главен установъчен ъгъл* κ_r ; *ъгъл на наклона на напречния режещ ръб* ψ ; *ъгъл на наклона на винтовия стружков канал* ω . Предните ъгли (γ_o , γ_f) и ъгълът на наклона на винтовия стружков канал ω се получават при изработване на свредлото, а останалите ъгли (κ_r , α_o , α_f , ψ) – при заточването му.

Геометричните елементи на винтовите свредла са променливи както в статичната, така и в работната координатна система. *Предните ъгли имат максимална стойност на периферията на свредлото и при доближаване към оста намаляват, като стават отрицателни за точките от напречния режещ ръб* - от (-80°) до (-60°) . Това значително увеличава подавателната сила на рязане (до 65%) и въртящия момент (до 15%). *Задните ъгли са най-малки на периферията и нарастват към оста на свредлото.*

Предните ъгли на винтовите свредла се осигуряват от винтовата форма на предната повърхнина на зъба. Те нарастват с увеличаване на ъгъла на наклона на винтовите зъби ω и намаляват с увеличаване на главния установъчен ъгъл κ_r . *Главният преден ъгъл се определят по зависимостта:*

$$\operatorname{tg} \gamma_{oM} = \frac{1 - \sin^2 \mu_M \sin^2 \kappa_r}{\sin \kappa_r \cos \mu_M} \operatorname{tg} \omega_M - \operatorname{tg} \mu_M \cos \kappa_r, \quad (4.11)$$

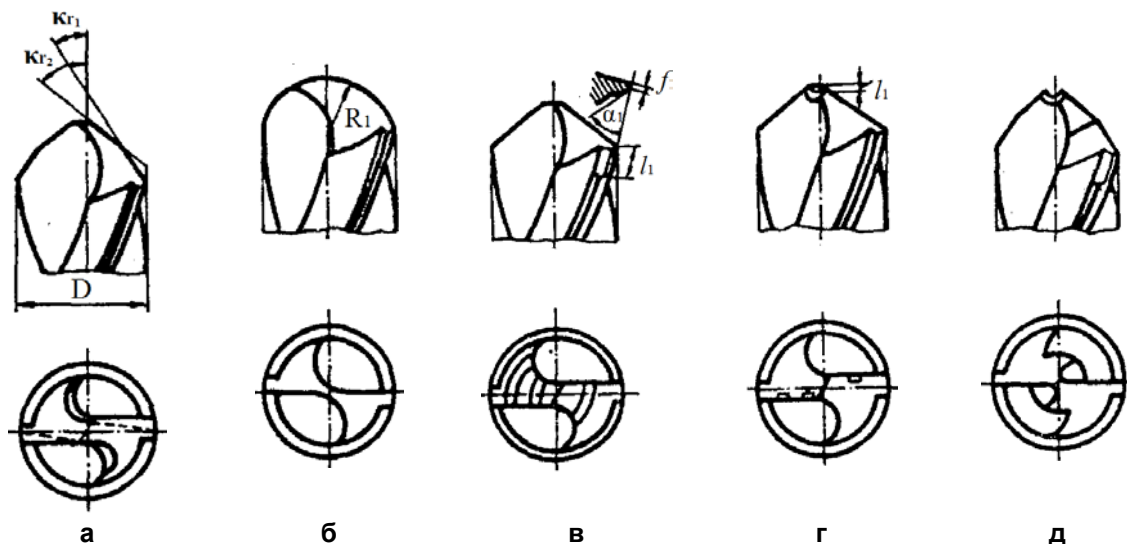
където: $\omega_M = \operatorname{arctg} \frac{D_M}{D} \operatorname{tg} \omega$; $\mu_M = \operatorname{arcsin} \frac{d_c}{D_M}$; D_M - диаметър на свредлото в произволно избрана точка M .

Главните задни ъгли α_{oM} се получават чрез заточване. Най-често се регламентира страничният заден ъгъл α_{fM} , който трябва да бъде по-голям от ъгъла

$\eta = \operatorname{arctg} \frac{f}{\pi D_M}$ (f - осово подаване на свредлото). С ъгъл η се определят и работните задни ъгли на свредлото. За осигуряване на рационални работни задни ъгли е необходимо задният страничен ъгъл в периферията да е в диапазона $8 \div 14^\circ$, а в прехода към напречния режещ ръб - $20 \div 25^\circ$. Главният заден ъгъл α_{oM} се изразява с ъгъла, определен в равнината P_f :

$$\operatorname{tg} \alpha_{oM} = \operatorname{tg} \alpha_{fM} \sin \kappa_r. \quad (4.12)$$

За подобряване на геометрията и работоспособността на свредлата се прилагат различни конструктивни подходи – оформяне на сферична или двойно конусна режеща част, което намалява износването в периферията на свредлото; подточване на калибровашката лентичка на малка дължина в зоната на рязане, за да се намали нейната широчина, а в резултат и триенето; подточване на напречния режещ ръб; оформяне на канали по предните и главните задни повърхнини за облекчаване на деформацията, отвеждането на стружките и триенето по задните повърхнини (Фиг. 4.3).



Фиг. 4.3. Конструктивни подобрения на режещата част на свредла

а - заточване на свредлото с различен установъчен ъгъл; б - заточване на свредлото с радиус;
в - подточване на калибровашката лентичка на малка дължина в зоната на рязане;
г - подточване на напречния режещ ръб; д - комбинирано заточване и подточване

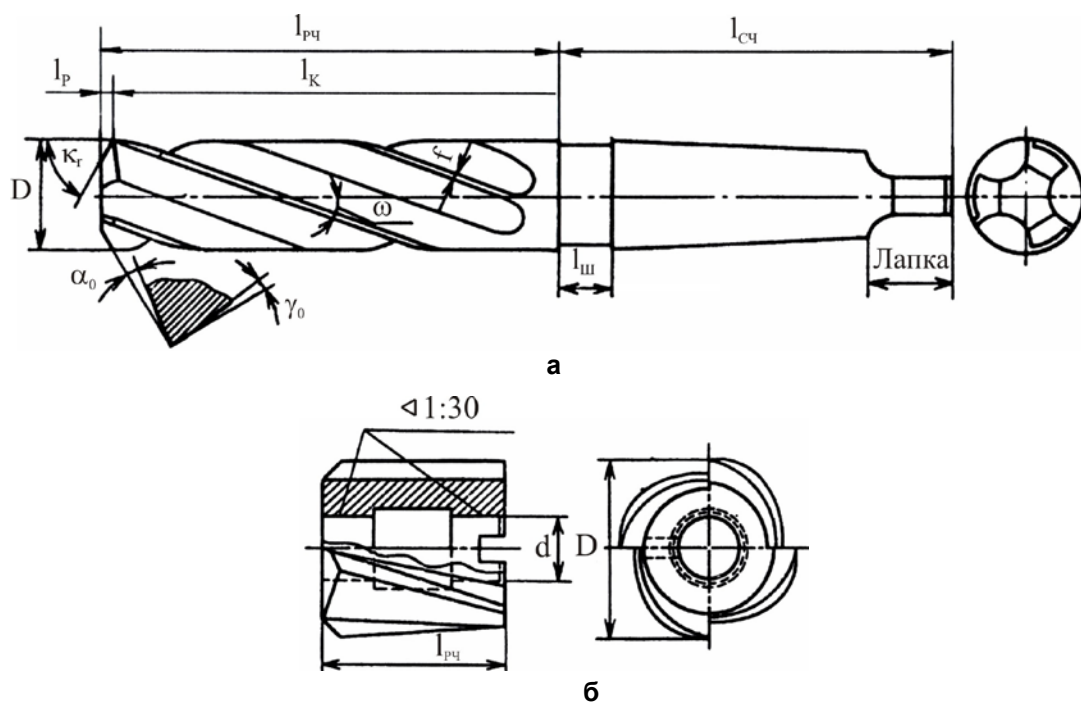
Б. Конструктивни и геометрични елементи на цилиндрични зенкери

Цилиндричните зенкери имат същите конструктивни елементи като винтовите свредла, но се различават от тях по броя на режещите зъби, които обикновено са $z = 3$ или $z = 4$ (Фиг. 4.4). Освен това те нямат напречен режещ ръб и сърцевината им е с по-голямо напречно сечение, което осигурява по-голяма якост и стабилност на инструмента. Наличието на по-голям брой зъби осигурява по-висока производителност, а липсата на напречен режещ ръб облекчава съществено процеса на рязане.

Цилиндричните зенкери са опашкови (Фиг. 4.4 а) и дорникови (Фиг. 4.4 б). Опашковите зенкери са изградени от режеща част, калибровашка част, шийка, опашка и винтови стружкови канали. Броят на режещите ръбове обикновено е 3 за опашковите и 4 за дорниковите зенкери. Зенкерите, предназначени за сваляне на големи прибавки, се изработват с два зъба, а зенкерите с големи диаметри ($D = 70 \div 100 \text{ mm}$) – с шест зъба.

Външният диаметър D се определя в зависимост от предназначението на зенкера. Номиналният диаметър на зенкерите за окончателно обработване се приема в съответствие с номиналния размер на обработвания отвор съгласно чертежа на детайла, като се отчитат големината и разположението на допуски на отвора, разбиването (увеличаването) на диаметъра на отвора и износването на

зенкера при обработване. Номиналният диаметър на зенкерите за предварително обработване е по-малък, за да остане прибавка за следващото обработване.



Фиг. 4.4. Конструктивни и геометрични елементи на цилиндричен зенкер
а – опашков зенкер; б - дорников зенкер

Формата и размерите на стружковите канали трябва да осигурят побиране и отвеждане на стружката. Дълбочината на стружковите канали H е пропорционална на номиналния диаметър: $H = (0,27 \div 0,1)D$.

Направлението на наклона на канала определя посоката на отвеждане на стружката. При дясно въртеливо главно движение и десен наклон на стружковите канали стружката се отвежда назад, при същата посока на въртене и ляв наклон на стружковите канали стружката се отвежда напред по посока на подаването. В последния случай стружката не наранява обработената повърхнина, в резултат на което се осигурява по-малка височина на грапавините. Това обаче е възможно само при обработване на проходни (светли) отвори.

При някои конструкции зенкери каналите се изработват прави, например при инструменти с твърдосплавни режещи пластини или при комбинирани зенкери за обработване на стъпални отвори.

Калибровачната част на зенкерите е снабдена с лентичка с ширина $0,8 \div 2 \text{ mm}$. За намаляване на триенето калибровачната част се изработва с обратна конусност $0,04 \div 0,1 \text{ mm}$ на 100 mm дължина по цялата дължина на зенкера, а при твърдосплавните зенкери – с конусност $0,05 \div 0,08 \text{ mm}$ по цялата дължина на твърдосплавната пластина.

Геометричните елементи на зенкерите са същите, както на свредлата - главен преден ъгъл γ_0 , главен заден ъгъл α_0 , главен установъчен ъгъл κ_r , ъгъл на наклона на винтовия стружков канал ω . Стойностите им се избират в зависимост от физико-механичните свойства на обработвания материал.

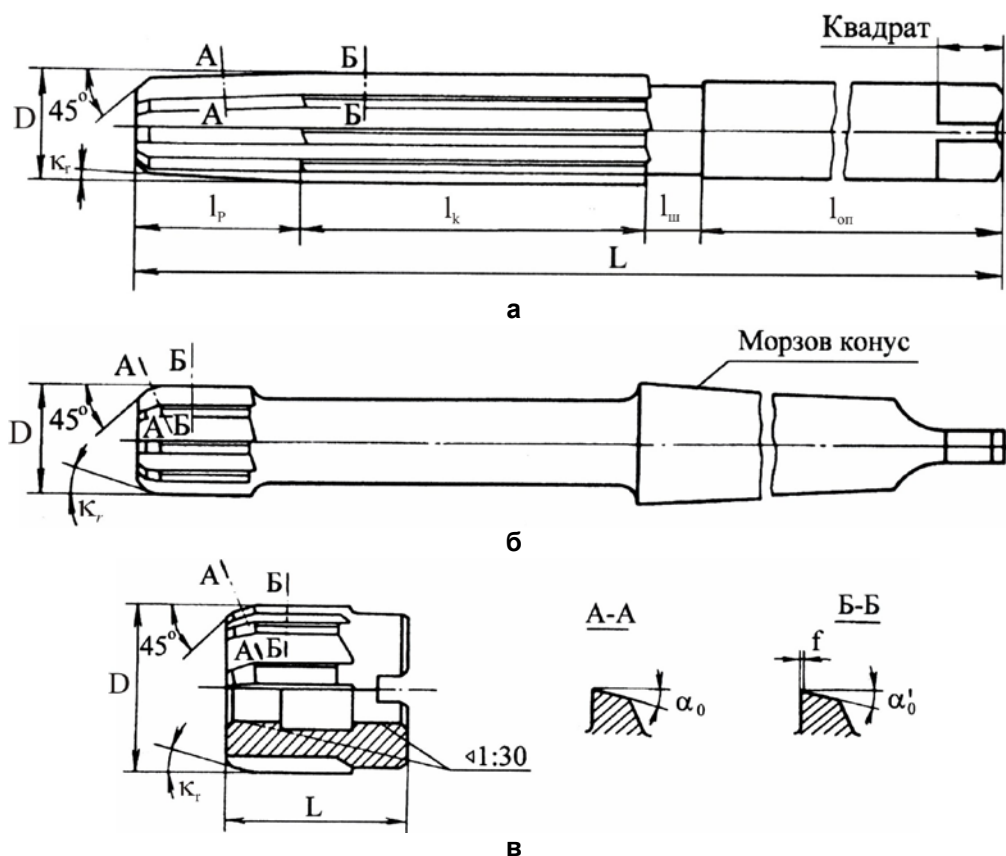
Главният установъчен ъгъл κ_r се приема в диапазона $45 \div 60^\circ$. За да се увеличи трайността на зенкера при обработване на детайли от стомана, режещият ръб близо до външния диаметър се скосява допълнително под ъгъл $\kappa_{r1} = 30^\circ$. При това скосяване се образува преходен режещ ръб с дължина $0,3 \div 0,8 \text{ mm}$.

Предните и задните ъгли в различните точки на режещите ръбове се изменят по същите закономерности, както при свредлата. За периферната точка предният и задният ъгъл имат стойности в диапазоните: $\gamma_o = 5 \div 25^\circ$; $\alpha_o = 8 \div 10^\circ$.

Ъгълът на наклона на винтовите стружкови канали ω има същото значение, както при винтовите свредла. За зенкерите с универсално предназначение $\omega = 10 \div 25^\circ$.

В. Конструктивни и геометрични елементи на цилиндрични райбери

Цилиндричните райбери се състоят от режеща част, калибровача част и опашка (Фиг. 4.5). Режещата част включва направляващ конус под ъгъл 45° , предназначен за предварително ориентиране на инструмента в отвора и за предпазване на зъбите от механични повреди.



Фиг. 4.5. Конструктивни и геометрични елементи на цилиндричен райбер
а – ръчен райбер; б - машинен райбер; в – дорников райбер

Целите ръчни райбери (Фиг. 4.5 а) с диаметър $D = 1,5 \div 50 \text{ mm}$ се изработват с цилиндрична опашка с квадрат. Целите машинни райбери (Фиг. 4.5 б) с диаметър $D = 1,5 \div 50 \text{ mm}$ се изработват с цилиндрична опашка, а тези с диаметър $D = 7 \div 70 \text{ mm}$ – с конусна опашка. Райберите с диаметър $D = 25 \div 90 \text{ mm}$

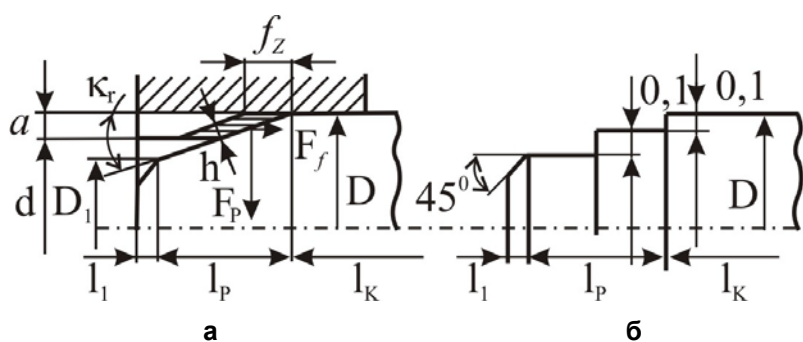
се изработват с базиращ отвор с конусност 1:30 и челен шпонков канал за предаване на въртящия момент (Фиг. 4.5 в).

Режещата част на райберите обикновено е конусна (Фиг. 4.6 а), но може да бъде и стъпална цилиндрична (Фиг. 4.6 б).

При конусна режеща част режещите ръбове са наклонени спрямо направление на подавателното движение под ъгъл κ_r . С намаляването на κ_r , при еднаква дълбочина на рязане a и подаване f_z , намаляват дебелината h на стружката и подавателната сила F_f и се увеличава нормалната сила на рязане F_p . В резултат на това инструментът се направлява по-добре по обработвания отвор. Необходимо е прилагането на по-малка външна сила, което е особено съществено при ръчно райбероване. Увеличаването на нормалната сила на рязане обаче води до увеличаване на деформациите на обработвания детайл, особено на тънкостенните детайли, и до намаляване на точността на обработване. Освен това при рязане на жилави материали стружките с по-малка дебелина по-трудно се отделят. Ето защо *главният установъчен ъгъл κ_r трябва да се избира в зависимост от условията на работа:*

- ✓ при ръчно райбероване: $\kappa_r = 1 \div 2^\circ$;
- ✓ при машинно райбероване на крехки материали: $\kappa_r = 4 \div 5^\circ$;
- ✓ при машинно райбероване на пластични материали: $\kappa_r = 12 \div 15^\circ$;
- ✓ при райбероване на глухи отвори: $\kappa_r = 45 \div 60^\circ$.

Стъпаловидната форма на режещата част (Фиг. 4.6 б) на райберите се



Фиг. 4.6. Форми на режещата част на райбери
а – конусна; б – стъпална цилиндрична

използва при сваляне на големи прибавки (около 1 mm). Тя се състои от два или повече цилиндрични пояса с ширина 2÷4 mm, разположени на разстояние 0,1 mm един от друг.

Калибровачата част се състои от две отделни части: цилиндрична с дължина $l_{\kappa\zeta}$ и конусна с дължина $l_{\kappa\sigma}$.

Конусната част е с обратна конусност 0,04 ÷ 0,06 mm за машинни райбери с неподвижно закрепване и 0,08 ÷ 0,1 mm за машинни райбери с плаващо закрепване. За ръчни райбери конусността е по-малка – 0,01 ÷ 0,015 mm. Ръчните райбери обикновено се изработват без цилиндрична калибровача част. Райберите със стъпаловидна режеща част имат само цилиндрична калибровача част.

С увеличаването на дължината на калибровачата част се увеличава триенето и разбиването на отвора. Ето защо се препоръчва калибровачата част да бъде къса. За машинни райбери $l_{\kappa\zeta} + l_{\kappa\sigma} = (0,25 \div 0,3)D$. Дължината на калибровачата част на ръчните райбери се приема около 3 пъти по-голяма от тази на машинните.

Диаметърът на калибровашката част на райбера се изчислява или избира, като се изхожда от точността и разположението на допусковото поле на обработвания отвор и материала на обработвания детайл.

За по-добро направляване на райбера калибровашката му част се изпълнява с тясна цилиндрична лентичка с широчина $f = 0,05 \div 0,3 \text{ mm}$.

Броят, видът и разположението на зъбите на райберите са съществени фактори за получаване на необходимата точност на диаметъра и на малка грапавост на повърхнината на отвора. Тъй като райберите свалят стружка с малко сечение, зъбите им са по-малко натоварени, а стружковите канали могат да бъдат с по-малко напречно сечение. Поради това райберите се изработват обикновено с голям брой зъби (6 и повече). Броят на зъбите на райберите може да бъде четно или нечетно число, а ъгловата стъпка – равномерна или неравномерна.

Райберите се изработват най-често с прави зъби. Райберите с винтови зъби осигуряват по-голяма устойчивост на процеса на рязане и непрекъснатост на стружкоотделянето и се използват за обработване на прекъснати отвори и отвори в леки сплави. Посоката на наклона на зъбите трябва да е обратна на посоката на въртене на райбера, за да се избегне самозатягането му в обработвания отвор.

Предните и задните ъгли на райбера се подбират в зависимост от конкретното му предназначение. За да се осигури по-малка грапавост, предният ъгъл $\gamma_p = 0^\circ$. При грубо райбероване и при райбероване на жилави материали $\gamma_p = 5 \div 10^\circ$. Задният ъгъл $\alpha_p = 6 \div 8^\circ$.

4.1.3.2. Видове инструменти за обработване на отвори

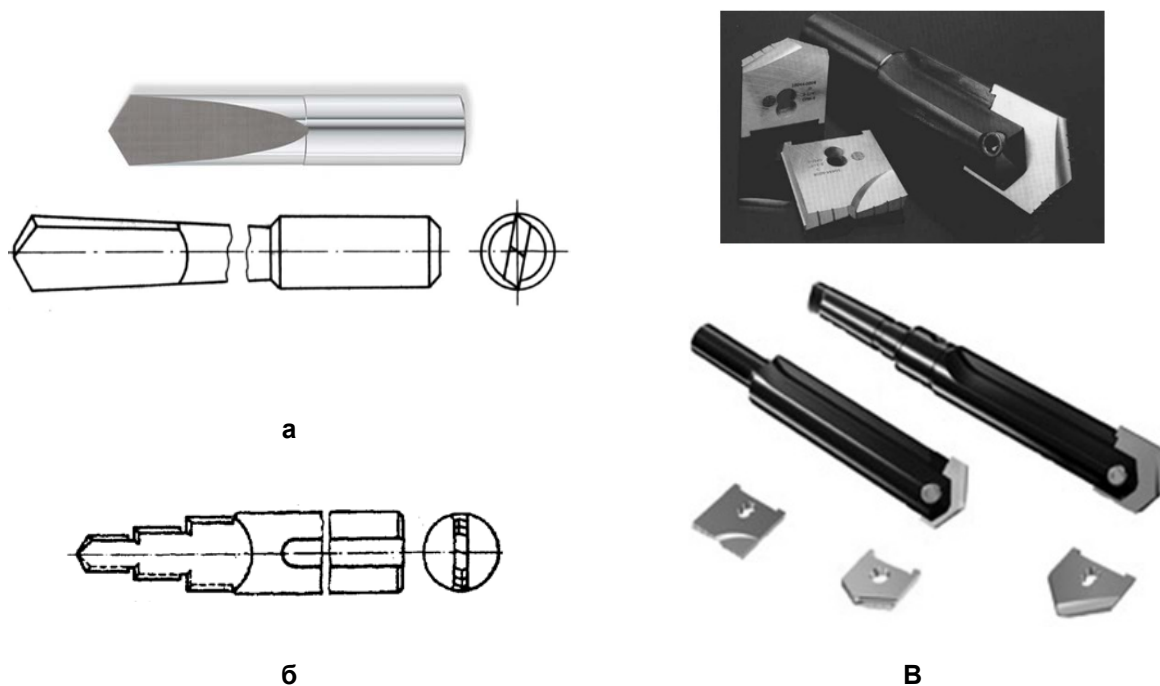
А. Видове свредла

Свредлата са инструменти за обработване на отвори в плътен материал и за разширяване на предварително пробити отвори. Голямото многообразие от свредла, произвеждани и използвани в производството, се класифицира по:

- ✓ *предназначение* - разделят се на цилиндрични, конусни; центрови, комбинирани (стъпални);
- ✓ *конструкция на работната част* - свредлата са винтови (спирални), шнекови, лопатообразни, оръжейни, многозъби, за пръстеновидно изрязване;
- ✓ *дължина на работната част* - свредлата са къси, нормални, дълги и свръхдълги;
- ✓ *конструкция на опашката* – изработват се с цилиндрична опашка, с цилиндрична опашка с водач, с конусна опашка с морзов конус, с конусна опашка с конусност 7:24;
- ✓ *твърдост на материала, за обработването на който са предназначени* - свредлата са три типа: тип *N* – за материали с нормална твърдост; тип *W* – за меки материали; тип *H* – за твърди материали;
- ✓ *вид на инструменталния материал* - изработват се от легирана инструментална стомана, от бързорежеща стомана и от металокерамични твърди сплави;
- ✓ *точност на изработване* – свредлата се изработват с два класа на

точност: клас *A* – повишена точност; клас *B* – нормална точност.

Най-стара и най-проста е конструкцията на **перестите свредла** (Фиг. 4.7). Те имат плоска и сравнително къса работна част. Отсъствието на винтови канали обаче затруднява отвеждането на стружките от отвора. Рязането се затруднява и от отрицателните предни ъгли на инструментите. Перестите свредла се използват рядко, главно за свредловане на много твърди материали и на стъпални отвори. Пересто свредло за обработване на стъпален отвор е показано на Фиг. 4.7 б. Перестите свредла с големи диаметри се изработват с механично закрепени плоски пластини от бързорежеща стомана или металокерамика (Фиг. 4.7 в). Сглобяемите конструкции са много подходящи за работа върху агрегатни машини и машини с програмно управление.



Фиг. 4.7. Перести свредла

а, б – монолитни от бързорежеща стомана; *в* – сглобяеми със сменяеми твърдосплавни пластини

Цилиндричните винтови свредла са най-разпространеният тип свредла в промишлеността (Фиг. 4.2). Използват се за свредловане и разсвредловане на отвори с диаметър до 80 mm.

Общата дължина на свредлото има голямо значение за неговата устойчивост в процеса на рязане. С увеличаване на дължината, особено на частта, излизаща извън приспособлението за закрепване на инструмента, устойчивостта, а оттам и трайността на свредлото намаляват. Поради това за различни условия на работа трябва да се използват свредла с различна дължина, които работят при различни режими на рязане. Свредлата се изработват с нормална или скъсена работна част и опашка. Скъсените свредла се използват при работа с големи подавания или при рязане на труднообработваеми материали.

При свредловане на отвори в детайли от високояки, неръждаеми и закалени стомани, чугуни, пластмаси, керамика и стъкло се използват **твърдосплавни винтови свредла**. Използването им за обработване на обикновени конструк-

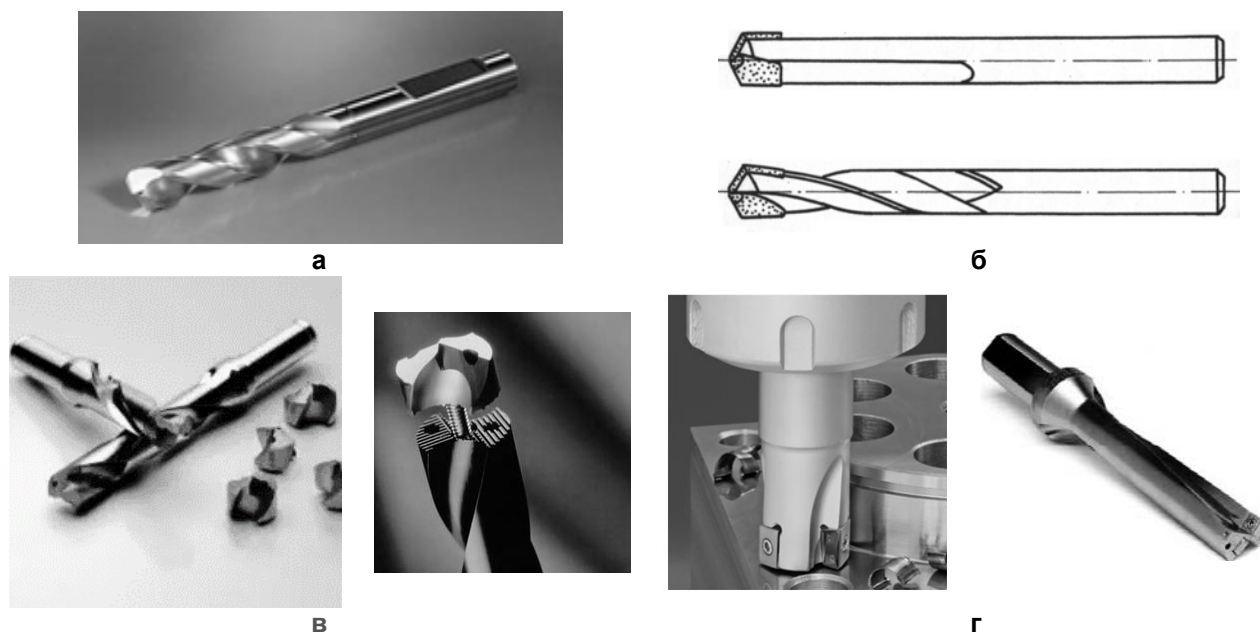
ционни стомани е неефективно.

В производството се прилагат три конструкции твърдосплавни свредла:

- цели (монолитни) –изработват се изцяло от металокерамична твърда сплав; използват се за обработване на отвори с малки диаметри (Фиг. 4.8 а);

- съставни – с прави и винтови стружкови канали с твърдосплавна пластина, споена в предната част на тяло от закалена стомана (Фиг. 4.8 б), с твърдосплавна коронка с дължина $l = (1 \div 1,5)D$, споена чрез стъпална повърхнина към тялото или с твърдосплавна работна част;

- сглобяеми – специални свредла за отвори със средни диаметри (свредла CrownLoc) и свредла с многоръбови непрезаточваеми пластини в режещата част за отвори с диаметър над 16 mm (Фиг. 4.8 в, г).



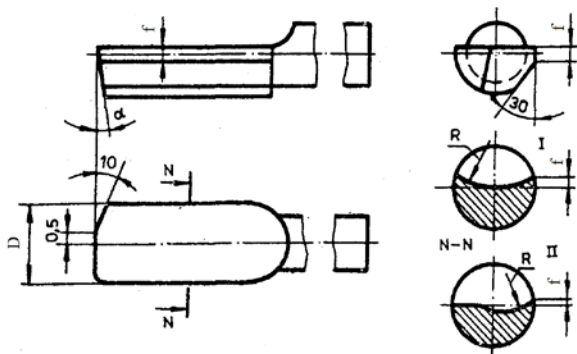
Фиг. 4.8. Твърдосплавни свредла [30]

а – цели; б – съставни; в – сглобяеми (тип CrownLoc);
г – сглобяеми (със сменяеми непрезаточваеми пластини)

Обработването на дълбоки отвори (отвори, за които отношението на дължината към диаметъра е по-голямо от 5÷6) протича при затруднени условия на рязане – малка стабилност на инструмента, повишена температура, затруднено охлаждане и отвеждане на стружките от зоната на рязане. Диапазонът на диаметрите на тези отвори е голям – до 400 mm, а отношението на дължината към диаметъра достига 100 и повече. Такива отвори се срещат в стрелковите оръжия, хидравличните елементи, вретената и пинолите на машините и т.н.

За да се осигурят високите изисквания към точността на дълбоките отвори, се използват **специални свредла за дълбоки отвори** - еднозъби, многозъби и за пръстеновидно изрязване.

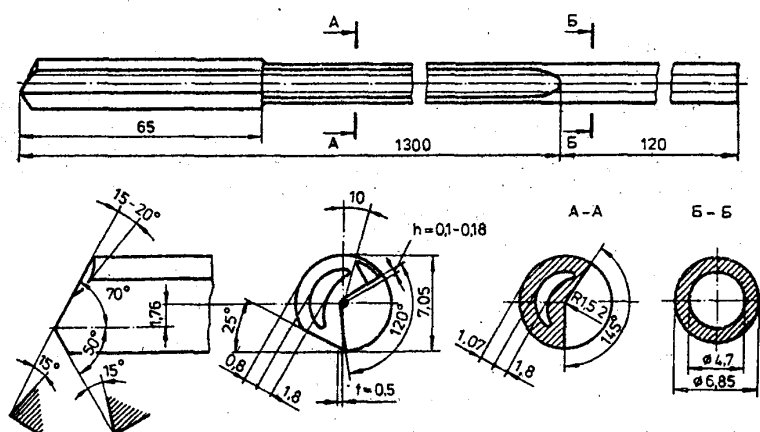
Еднозъбите свредла режат материала от едната страна на оста на отвора. Това води до малка производителност, но и до голяма точност на обработваните отвори. Еднозъбите свредла са два вида: лопатообразни (оръдейни) и оръжейни.



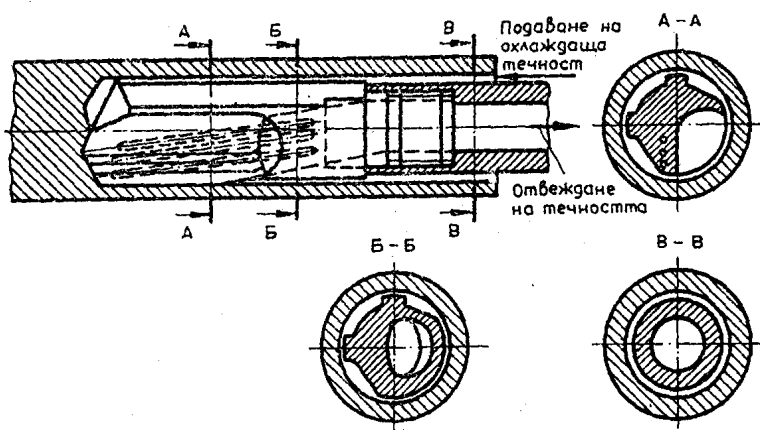
Фиг. 4.9. Лопатообразно (оръдейно) свредло

Лопатообразното свредло има формата на цилиндричен прът, изрязан от едната страна, за да се получи работната част (Фиг. 4.9). Неизрязаната цилиндрична част служи за радиална опора на инструмента. Главният режещ ръб е перпендикулярен на оста на свредлото ($\kappa_r = 90^\circ$). Така се осигурява малка нормална сила, насочена срещу опорната цилиндрична повърхнина. Откъм режещия ръб цилиндричната част е скосена под ъгъл 30° , като е оставена калибровача лентичка ($f = 0,5 \text{ mm}$). Предният ъгъл на главния режещ ръб е 0° , което затруднява условията на работа. Затруднено е също охлаждането на инструмента и отвеждането на стружките. Поради това лопатообразните свредла се използват за свредловане и разсвредловане на отвори с дължина до $10D$ (при $D = 6 \div 36 \text{ mm}$).

По-рационална конструкция има **оръжейното свредло**. Работната част и стъблото представляват две тръби, заварени челно и развалцовани така, че в



Фиг. 4.10. Оръжейно свредло



Фиг. 4.11. Еднозъбо свредло с вътрешно отвеждане на стружките

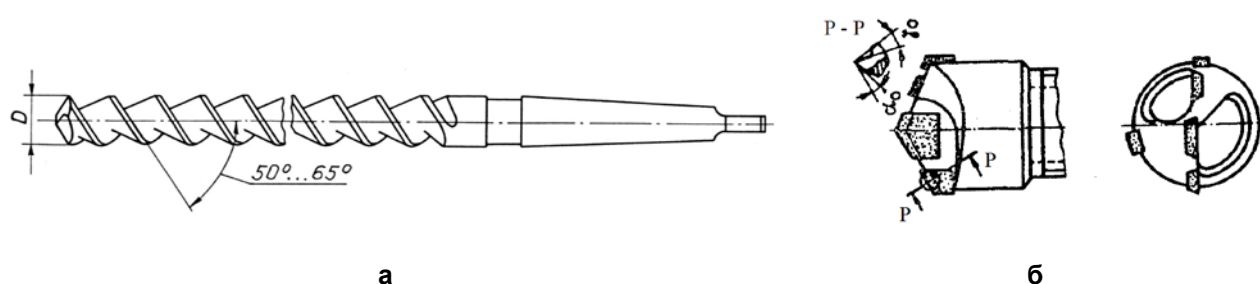
напречно сечение да се получи формата, показана на Фиг. 4.10. В процеса на работа по сърповидния отвор се подава СОТ, която изтича по външния стружков канал, като спомага за отвеждането на стружките. Работната част на свредлото е от бързорежеща стомана или твърда сплав, а стъблото – от конструкционна стомана. При големи диаметри ($20 \div 30 \text{ mm}$) работната част се изработва като отделна глава, която се присъединява към стъблото чрез резба (Фиг. 4.11). В тази конструкция стружките се отвеждат по вътрешен канал и не нараняват обработения отвор.

Многозъбите свредла за дълбоко пробиване най-често се изработват с два зъба. Те са по-производителни от еднозъбите, но осигуряват по-малка точност.

Многозъбите свредла за дълбоко пробиване са основно три вида: винтови, шнекови и ежекторни.

Винтовите свредла за дълбоко пробиване се различават от обикновените винтови свредла по наличието в опашката на централен отвор за подаване на СОТ в зоната на рязане. В работната част този отвор се раздвоява и течността се подава към двата режещи ръба.

Шнековите свредла (Фиг. 4.12 а) имат голям наклон на стружковите канали ($\omega = 50^\circ \div 65^\circ$), с което се осигуряват по-добри условия за отвеждане на стружките. Сърцевината също е с по-голямо сечение в сравнение с винтовите свредла. Предната повърхнина се подточва така, че да се осигури раздробяването на стружките. Тези свредла се използват за обработване на отвори с дължина, по-голяма от $10D$, върху агрегатни машини и автоматични линии.

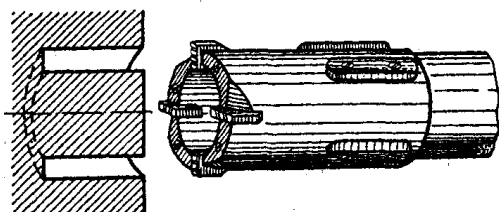


Фиг. 4.12. Многозъби свредла за дълбоко пробиване

а – шнеково свредло; б – ежекторно свредло

Ежекторните свредла (Фиг. 4.12 б) са специални свредла за обработване на дълбоки отвори с диаметър $20 \div 65 \text{ mm}$. Състоят се от работна глава и стъбло, съединени чрез резба. Режещата част е изработена с механично закрепени или споени тесни твърдосплавни пластини. Пластините са разположени така, че да се осигури раздробяване на стружките. От външната страна на свредлото, под голямо налягане се подава СОТ, отвеждаща стружките по два вътрешни канала. Ежекторните свредла осигуряват голяма точност на обработване и висока производителност.

Когато се обработват отвори с голям диаметър с разгледаните по-горе свредла, голямо количество материал се превръща в стружки. Затова по-целесъобразно е рязането да се извършва пръстеновидно, като се остави необработена сърцевина (Фиг. 4.13). Това дава възможност да се съкратят разходът на енергия и времето за рязане. Освен това е възможно получената във вид на цилиндричен прът сърцевина да се използва за изработване на други детайли.

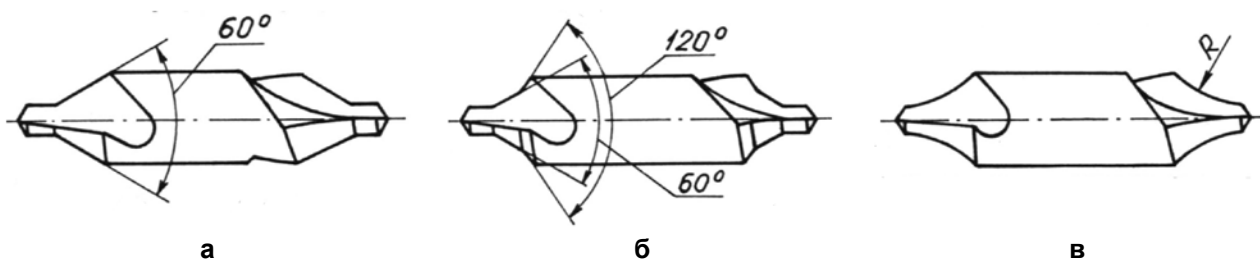


Фиг. 4.13. Свредло за пръстеновидно пробиване

Свредлата за пръстеновидно изрязване се състоят от работна част и дълго стъбло, съединени с резба. Двете части са във вид на тръби. По челото на работната част (короната) са разположени режещите пластини. В зоната на рязане се подава СОТ под голямо налягане.

Целесъобразно е свредлата за пръстеновидно изрязване да се използват за обработване на отвори с диаметър над 100 mm, но могат да се прилагат и за отвори с по-малък диаметър (над 30 mm).

Центровите свредла (Фиг. 4.14) са предназначени за изработване на технологични центрови отвори, използвани като чисти бази при обработване на детайли от типа на валове и оси. Използват се стандартни центрови свредла без предпазен конус (тип А - Фиг. 4.14 а), с предпазен конус (тип В – Фиг. 4.14 б) и с радиусна режеща част (тип R - Фиг. 4.14 в).



Фиг. 4.14. Центрови свредла

а – без предпазен конус; б – с предпазен конус; в – с радиусна режеща част

Б. Видове зенкери

Зенкерите са режещи инструменти, предназначени за: разширяване на предварително получени отвори чрез свредловане, леене, коване, щамповане; обработване на цилиндрични и конусни повърхнини, разположени концентрично (съосно) спрямо цилиндрични отвори; обработване на повърхнини, разположени перпендикулярно на цилиндрични отвори.

Зенкерите се класифицират на следните видове:

- по обща геометрична форма – на цилиндрични, конусни, челни и комбинирани;
- по начина на установяване – на опашкови и дорникови;
- по технологични и конструктивни особености – на цели (монолитни), съставни и сглобяеми.

Цилиндричните зенкери (Фиг. 4.4) са предназначени за разширяване на предварително получени отвори. Чрез тях може да се свали прибавка от 0,7 mm до 5 mm по диаметър, а чрез някои зенкери със специална конструкция – до 30 mm. След зенкерование отворите с по-високи изисквания за точност се райбероват, разстъргват или протеглят.

Зенкерите с диаметър до 16 mm се изработват с цилиндрична опашка, тези с диаметър от 10 mm до 50 mm – с конусна опашка, а зенкерите с диаметър от 25 mm до 80 mm – с цилиндричен отвор за дорник.

Цилиндричните дорникови зенкери се използват за разширяване на отвори със сравнително големи диаметри (25÷100 mm). Те се базират чрез конусен отвор с конусност 1:30 върху дорник. Въртящият момент при тези зенкери се предава чрез челна шпонка.

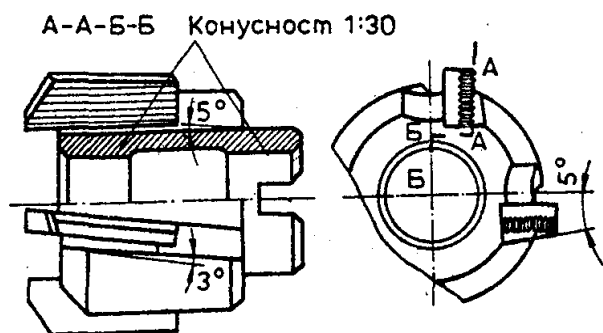
За по-ефективно използване на инструменталния материал се изработват сглобяеми цилиндрични зенкери. Те са няколко вида:

- **Зенкери с пряточваеми ножове от бързорежеща стомана** (Фиг. 4.15) -

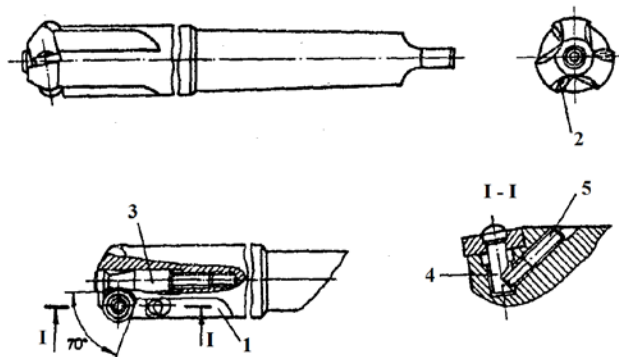
имат зъби с призматична форма и рифелована задна повърхнина, което дава възможност зъбите да се регулират в осово и радиално направление. Затягането на зъбите се извършва с надлъжни клинове.

- **Зенкери със сменяеми твърдосплавни непрезаточваеми пластини - многоръбови или кръгли** (Фиг. 4.16). Пластините 2 се закрепват чрез осите 4 и винтовете 5 в каналите 1 на тялото на зенкера. Винтът 3 с конусната си част ориентира пластините в радиално направление.

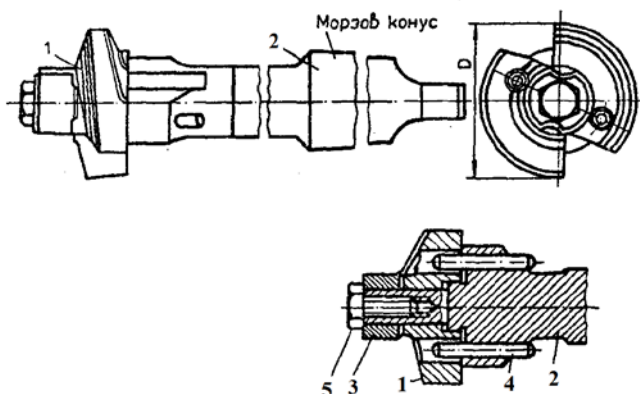
- **Двузъби зенкери** - изработват се с диаметър от 28 mm до 300 mm и се използват за разширяване на отвори, включително и на дълбоки отвори с дължина до 4000 mm. Малкият брой на режещите зъби позволява те да се изработват по-масивни и с по-големи стружкови канали. Това позволява с тези инструменти да се сваля прибавка до 30 mm. Конструкция на двузъб зенкер е показана на Фиг. 4.17. Зенкерът 1, заедно с преходната втулка 3, е закрепен към дорника 2 с помощта на винта 5. Въртящият момент от дорника към зенкера се предава чрез щифтовете 4, запресовани в дорника. Дорникът завършва с конусна опашка, чрез която се закрепва към вретеното на машината. Дължината на дорника се определя от дължината на обработвания отвор. Челната повърхнина на зъба е затилована, за да се осигури необходимият заден ъгъл. Заточването се извършва по предната повърхнина. При по-голяма дължина на режещите ръбове върху задната повърхнина на зъбите се изработват стружкоразделителни канали. Калибровачната част на зенкера е с обратен конус. Двузъбите зенкери могат да се комбинират със свредло, при което двата прехода се изпълняват едновременно.



Фиг. 4.15. Сглобяем зенкер с презаточваеми ножове

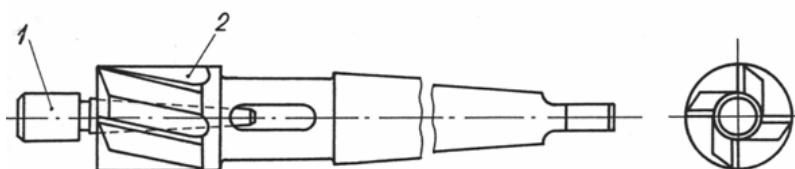


Фиг. 4.16. Сглобяем зенкер със сменяеми пластини



Фиг. 4.17. Двузъб зенкер

Цилиндричните зенкери с направляваща шийка (челно-цилиндрични зенкери) се използват за изработване на цилиндрични стъпала, съосни с обработен отвор. Тези стъпала служат обикновено за гнезда за скрити глави на болтове и винтове. Характерна за тези инструменти е предната водеща част (Фиг. 4.18), която ги направлява по съществуващия отвор. По този начин се осигурява съосност на



Фиг. 4.18. Челно-цилиндричен зенкер

1 – направляваща шийка; 2 – тяло

съществуващия и обработвания отвор. Главните режещи ръбове са перпендикулярни на надлъжната ос ($\kappa_r = 90^\circ$).

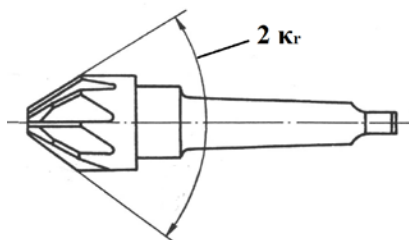
Направляващата шийка 1 се изработва като едно цяло

със зенкера или е сменяема. Зенкерите със сменяеми шийки са по-универсални, т.к. шийката се избира в зависимост от диаметъра на разширявания отвор. Освен това челните зъби се заточват по-лесно при свалена шийка. Сменяемите шийки се закрепват чрез конусна опашка в отвор в челото на зенкера и се избиват през канал, разположен над работната част на зенкера.

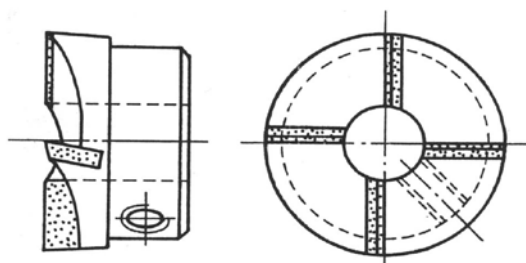
Конусните зенкери (зенковки) се прилагат за обработване на: конусни отвори с малка дълбочина, в които влизат главите на винтове; центрови отвори; гнезда за клапани и фаски. Зъбите на конусните зенкери са разположени по конусна повърхнина (Фиг. 4.19) с ъгъл на конуса $2\kappa_r = 60^\circ, 75^\circ$ и 90° . За подобряване на условията на рязане зъбите при върха се срязват през един на дължина $1,5 \div 5 \text{ mm}$. Зъбите са прави с равнинна предна повърхнина. В зависимост от диаметъра на зенкера броят на зъбите е от 6 до 12.

Челните зенкери (цековки) (Фиг. 4.20) се прилагат за обработване на изпъкнали челни повърхнини, разположени концентрично около отвори. Изработват се с опашка или с отвор за дорник. Зъбите им (от 4 до 6) са разположени само по челната повърхнина. Много често зъбите се изработват от твърди сплави, особено при обработване на чугун. Когато дължината на режещите ръбове е голяма, за облекчаване на процеса на рязане върху зъбите се изработват стружкоразделителни канали, разположени шахматно. Срещат се челни зенкери със зъби по двете чела. След износването на зъбите по едното чело, зенкерът се обръща и се използва другата страна.

Направляването на челните зенкери се осъществява с направляваща част (шийка) по предварително обработения отвор. Диаметърът на зенкера се избира малко по-голям от диаметъра на обработваната повърхнина.



Фиг. 4.19. Конусен зенкер



Фиг. 4.20. Челен зенкер

В. Видове райбери

Райберите са режещи инструменти за обработване на цилиндрични и конусни отвори след свредловане или зенкерование с цел подобряване на качеството на обработените повърхнини по отношение на точност и грапавост.

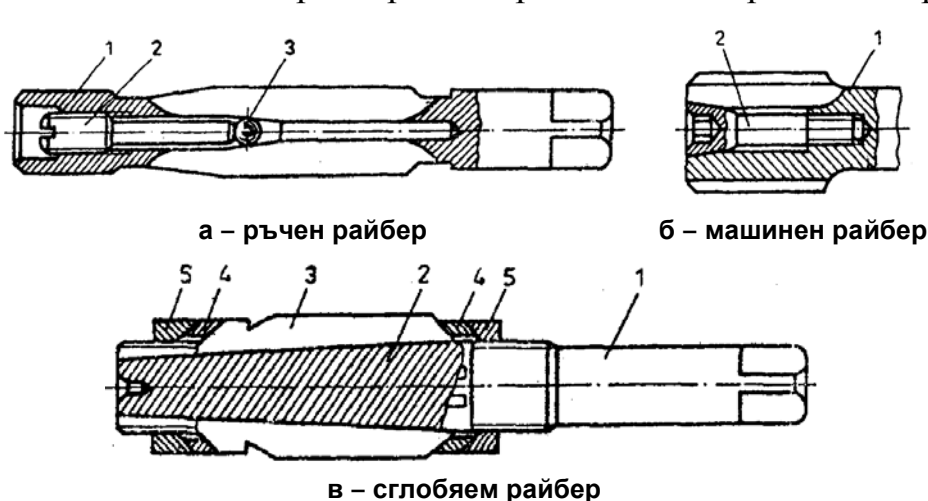
Райберите могат да се класифицират на следните видове:

- ✓ според предназначението - цилиндрични, конусни и котелни;
- ✓ по начин на задвижване – ръчни и машинни;
- ✓ по технологични и конструктивни белези - цели, съставни и сглобяеми;
- ✓ по начин на установяване върху машината - опашкови и дорникави;
- ✓ по експлоатационни белези – с постоянен диаметър и регулируеми.

Цилиндричните райбери (Фиг. 4.5) се използват за грубо и чисто обработване на точни цилиндрични отвори. Тъй като са предназначени за обработване на точни отвори (с малки допускови полета), размерната им трайност е малка. Износените райбери се презаточват на по-малък размер или се бракуват.

За да се увеличи общата трайност на райберите, са разработени конструкции на **регулируеми райбери**. Те се използват за ръчно и машинно райбероване. Конструкциите позволяват регулиране на диаметралния размер. По този начин райберът може да се настрои за обработване на отвор с даден номинален диаметър и различно разположение на допусковото поле, може и да се компенсира износването му.

Най-често регулирането се извършва за сметка на еластично деформиране на тялото на инструмента В конструкциите, показани на Фиг. 4.21 а, б, за тази цел в тялото 1 на райбера са изработени централен отвор и радиални прорези.



Фиг. 4.21. Регулируеми райбери

ва за ръчни райбери, а втората – за машинни. Границата на увеличаване на диаметралния размер е до 0,5 mm.

Сглобяемите райбери позволяват по-големи граници на регулиране на диаметъра, както и възможност за икономия на инструментален материал.

За регулиране на диаметралния размер на ръчни райбери се използва сглобяемата конструкция, показана на Фиг. 4.21 в. Тялото на инструмента 1 има конусна част 2. Зъбите 3 се изработват като плоски пластини и се установяват в канали, които се образуват от пръстените 4. Диаметърът се регулира, като се преместват зъбите в каналите чрез въртене на гайките 5. Тази конструкция дава възможност диаметърът на райбера да се увеличава до 3 mm.

Използването на металокерамични твърди сплави за изработване на райбери значително увеличава трайността им. **Твърдосплавните райбери** са с по-къса работна част и с по-малък брой зъби ($Z = 4 \div 10$).

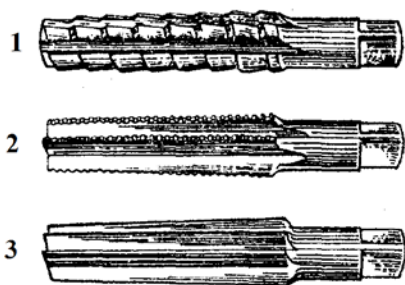
Конусните райбери се използват за обработване на конусни отвори за

Диаметърът на райбера се регулира чрез завиване на винта 2. В райбера на Фиг. 4.21 а усилието на винта се предава на тялото от сачмата 3, а в конструкцията на Фиг. 4.21 б – от конусната част на винта. Първата конструкция се използва

щифтове, базови отвори на инструменти (морзови и метрични конуси), отвори за конусни резби и др. Райбероването се извършва по две схеми:

- ✓ Отворът, който ще се райберова, е предварително обработен под съответния конус, например чрез разстъргване. В този случай прибавката за обработване е малка и се използва само един райбер.
- ✓ Отворът, който ще се райберова, е цилиндричен. В този случай, ако конусността е малка, се работи само с един райбер. При по-голяма конусност се използва комплект от 2 или 3 райбера.

Конусните райбери работят при много по-тежки условия от цилиндричните. При тях няма отделно режеща и калибровача част, а режещата част изпълнява функцията и на калибровача. В края на обработването зъбите снемат стружки по цялата дължина на обработвания отвор, поради което са много натоварени силово.



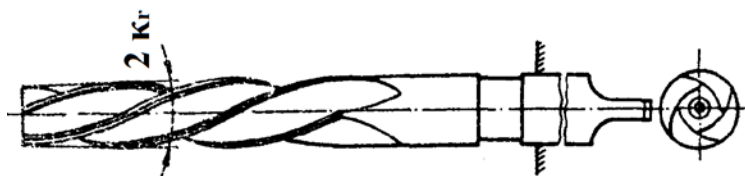
Фиг. 4.22. Комплект конусни райбери

На Фиг. 4.22 е показан комплект от три конусни райбера за обработване на морзови и метрични конуси. Първият райбер е предназначен за грубо обработване на отвора и сема основната част от прибавката. Зъбите му са със стъпаловидна форма. Рязането се извършва от челни режещи ръбове, като

всеки режещ ръб образува цилиндрична повърхнина с определен диаметър. По такъв начин гладкият цилиндричен отвор след обработване с първия райбер се превръща в стъпален цилиндричен. Вторият райбер е за получисто обработване – той премахва стъпалата и превръща отвора в гладък конусен, но с недостатъчна точност и с висока грапавост. За надробяване на стружките зъбите му са разделени с правоъгълни канали, изработени като правоъгълна резба. Третият райбер има гладки зъби и осигурява окончателната точност и грапавост на отвора.

За да се осигури запас за презаточване, дължината на работната част на конусните райбери се приема по-голяма от дължината на обработваните с тях отвори.

Котелните райбери са предназначени за обработване на отвори едновременно в два детайла, например на отвори за нитове. Оттук идва и наименованието им, тъй като котлите се изработват основно чрез занитване.



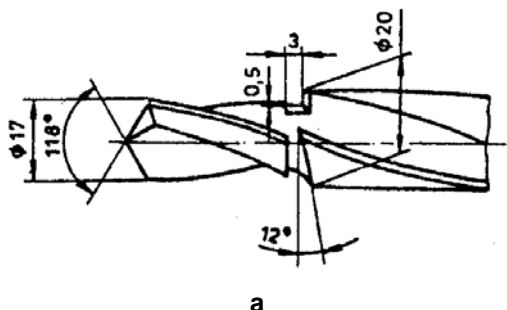
Фиг. 4.23. Котелен райбер

Предварително пробитите в двата детайла отвори при присъединяването за занитване може да се разминават значително.

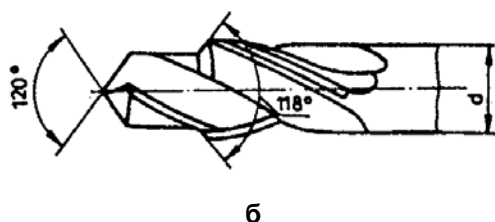
Затова те се пробиват с по-малък диаметър, а с котелните райбери се разширяват съвместно до необходимия размер, т.е. при райбероването се сваля сравнително голяма прибавка. Затова котелният райбер (Фиг. 4.23) се състои от дълга конусна режеща част (до $0,3 \div 0,5$ от дължината на работната част) и цилиндрична калибровача част. Зъбите са винтови с посока на наклона, обратна на посоката на въртене, за да се избегне самозатягането на райбера.

Г. Комбинирани инструменти за обработване на отвори

При обработване на стъпални отвори за съвместяване на преходите се използват **комбинирани инструменти** – свредла, зенкери и райбери (Фиг. 4.24 и Фиг. 4.25). Те осигуряват висока производителност и се използват при работа върху стругови, пробивни и пробивно-разстъргващи машини.

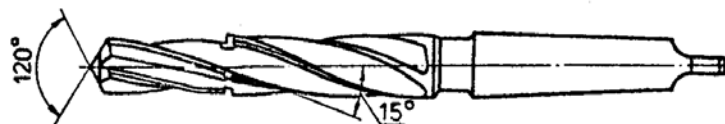


а

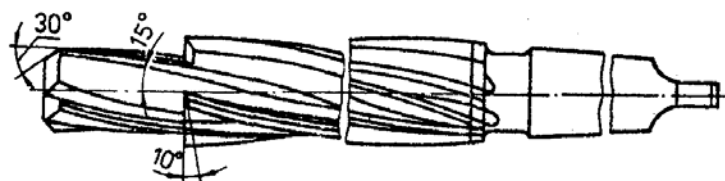


б

Фиг. 4.24. Комбинирани свредла



а



б

Фиг. 4.25. Комбинирани зенкери

Комбинираните свредла (Фиг. 4.24 а) и **зенкери** (Фиг. 4.25 а) при малка разлика между диаметрите на стъпалата се изработват чрез прешлифване на обикновени инструменти. Тези инструменти допускат малък брой презаточвания, който се определя от дължината на стъпалото с по-малък диаметър. За да се увеличи броят на презаточванията, се изработват свредла (Фиг. 4.24 б) и зенкери (Фиг. 4.25 б) с редуващи се зъби, при които калибровашката част за всяко стъпало преминава по цялата дължина на работната част.

За обработване на сложни отвори с голям диаметър се използват **комбинирани инструменти със сглобяеми зъби**. Зъбите са профилни и съответстват на профила на отвора. Използват се също инструменти с редуващи се зъби с проста форма за всяко стъпало на отвора.

4.2. РАЗСТЪРГВАНЕ НА ОТВОРИ

4.2.1. Технологични възможности

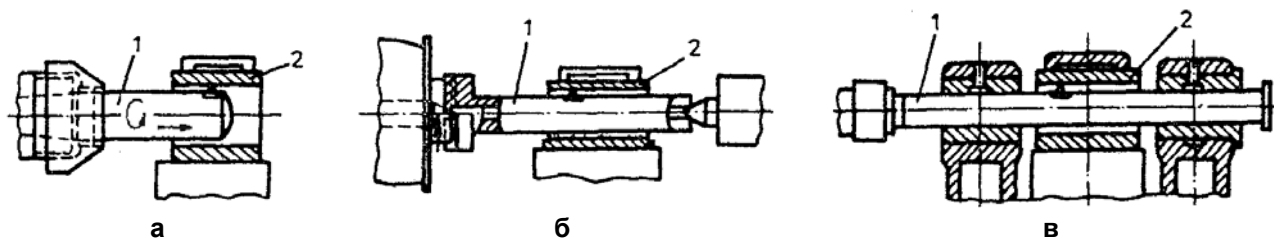
Разстъргването е процес на рязане за обработване на предварително изработени отвори с разстъргващи ножове или със специални режещи инструменти, наречени **борицанги** (Фиг. 4.26). Максималната препоръчителна дълбочина на отворите е до четири пъти диаметъра на отвора. За грубо и прецизно разстъргване на отвори с по-голяма дълбочина (шест или повече пъти диаметъра) се използват машини със специална конструкция и система за гасене на вибрациите. Процесът разстъргване осигурява висока точност ($9 \div 6$ степен) и малка грапавост $Ra = 2,5 \div 0,4 \mu m$.

Две са основните предимства на разстъргването:

- възможност за снемане на различни по големина прибавки, както и за обработване на отвори с различни диаметри (от много малки до много големи) и с различни, включително и високи показатели на точността, разположени в детайли с разнообразна форма и размери;

- постигане на най-голяма точност на зададеното разположение (спрямо базите на детайла) и на праволинейността на осите на обработените отвори в сравнение с други методи за обработване на отвори.

Разстъргването се извършва чрез комбиниране на две работни движения – главно въртеливо и подавателно праволинейно-постъпателно, извършвано по оста на въртеливото движение. Тези движения се изпълняват или само от инструмента, или в комбинация от инструмента и обработвания детайл. В инструмента и/или в металорежещата машина е предвиден механизъм за радиално преместване на режещата част на инструмента с висока точност (в границите от $0,01\text{ mm}$ до $0,001\text{ mm}$), което съответно осигурява и високата точност на обработвания отвор.



Фиг. 4.26. Разстъргване с борщанга

1 - борщанга; 2 – обработван детайл

Разстъргването е грубо, получисто, чисто и фино. При това се получават и приблизително същите показатели на качеството на повърхнините, както при външно цилиндрично струговане. Постигането им обаче е съпроводено със значително по-големи трудности, свързани главно с податливостта, съответно с деформациите на инструмента при разстъргване (напречните и надлъжните размери на разстъргващите инструменти, а оттам и податливостта им зависят от размерите на обработваните отвори). Освен това процесът разстъргване се характеризира с голямо силово и топлинно натоварване, които нарастват значително при високоскоростните и прецизни приложения.

За да се осигурят високо качество на обработените отвори след разстъргване и висока производителност, трябва да се спазват следните изисквания при реализация на процеса:

- да се използват приспособления с направляващи (кондукторни) втулки за направляване на инструментите и ограничаване на деформациите им, като най-добър ефект се получава при схемите с двойно направляване (Фиг. 4.26 б, в).

- режещите инструменти да са с висока трайност, подобрена стабилност, точност и вибраустойчивост, да са изработени от съвременни инструментални материали (поликристален диамант, кубичен борен нитрид и керамика);

- да се работи с инструменти със стойност на главния установъчен ъгъл $\kappa_r = 90^\circ$ или близка до 90° , което води до намаляване на нормалната сила на рязане, а в резултат и на деформацията в радиално направление;

- стойностите на елементите на режима на рязане да са по-малки от тези при струговане; прибавката да се сменя с повече преходи (или работни ходове), с по-малка дълбочина на рязане и с по-малки подавания;

- да се прилага многоножово разстъргване както за гладки, така и за стъпални отвори, като се използват многоножови блокове и глави, при което, благодарение на уравновесяването на нормалните компоненти на силите на рязане, се получава голяма точност, а едновременно с това – и висока производителност;

- да се отделя сериозно внимание на стружкочупенето, мазането и охлаждането, за да се осигурят надеждно отвеждане на стружките и дълъг експлоатационен живот на инструментите, както и за да се поддържат в определени граници топлинното и силовото натоварване (СОТ обикновено се подвежда с голям дебит и налягане, което предотвратява задръстването със стружки и позволява обработването и на по-дълбоки отвори);

- металообработващите машини задължително да са оборудвани с блокиращи устройства или със защитна система за изключване при претоварване.

Като се вземат предвид предимствата и на останалите методи за обработване на отвори, особено на отвори с малки диаметри, следва, че разстъргването е основен метод за обработване в случаите, когато:

- диаметърът на отвора е по-голям от диаметрите, които могат да се получат чрез зенкерование и райберование;

- диаметърът или конфигурацията на отвора или конфигурацията и размерите на детайла не дават възможност за протегляне, както и когато изработването на протяжки не е изгодно;

- диаметърът на отвора не може да се получи с помощта на стандартни зенкери и райбери, а изработването на специални зенкери и райбери е нецелесъобразно;

- предявени са високи изисквания за праволинейност на оста на отвора, както и за разположението му спрямо другите повърхнини на детайла.

Разстъргването може да се реализира върху различни металорежещи машини - универсални стругове, стругови центри, фрези, фрезови центри или многофункционални обработващи центри (пробивно-фрезово-разстъргващи), както и върху специализирани машини за разстъргване (координатни разстъргващи машини, хоризонтални и вертикални разстъргващи машини и др.).

4.2.2. Разстъргващи инструменти

Разстъргващите ножове (монолитни и със сменяеми режещи пластини) се прилагат главно при разширяване на отвори и работят върху стругови машини. При работа с тях лесно се осигурява съвпадане на геометричните оси на обработваните отвори, но трудно се постига правилната им цилиндрична форма.

Борщангите представляват дорник, върху който са закрепени един или няколко ножа или пластини, сменяеми глави, сменяеми пръстени с многоръбови сменяеми пластини за чисто обработване, микрометрични настройваеми блокове за фино обработване на отвори, разстъргващи глави с многоръбови сменяеми твърдосплавни пластини (Фиг. 4.27).



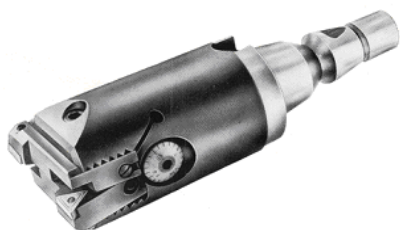
а – гама разстъргващи инструменти (борщанги)



б - регулируеми борщанги



в - борщанга със сменяеми глави



г - разстъргващи глави

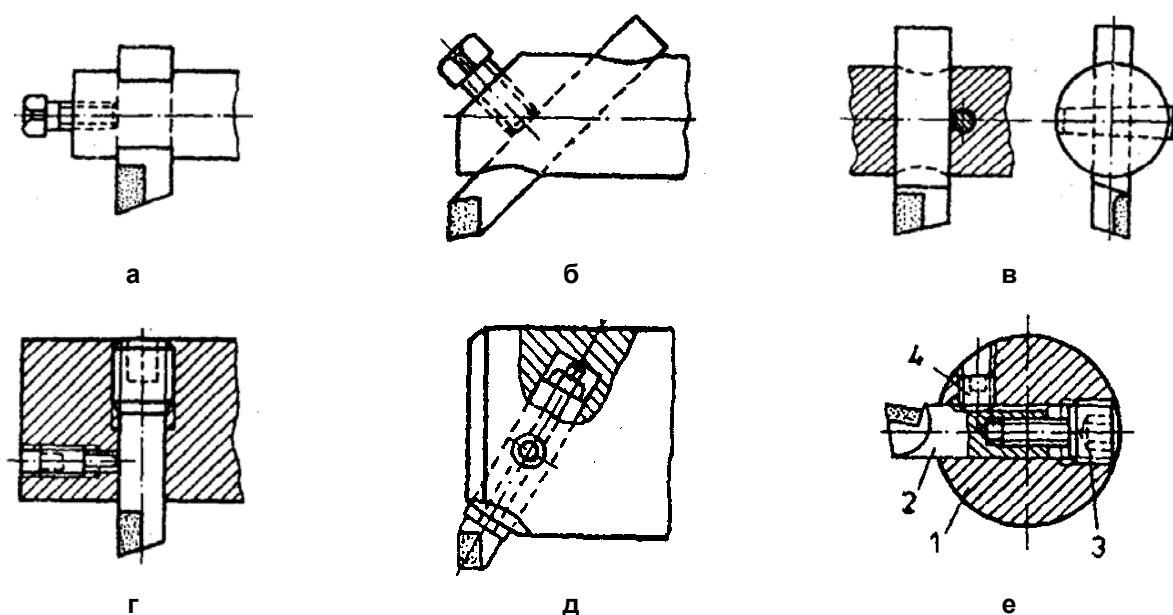


д - специална многооперационна борщанга

Фиг. 4.27. Борщанги - видове [75]

Борщангите се установяват конзолно (Фиг. 4.26 *а*) или на две опори (Фиг. 4.26 *б*, *в*). Конзолното установяване на борщангата осигурява по-големи удобства при работа, но възникват големи собствени еластични деформации. Затова се използва за обработване на къси и глухи отвори. При установяване на борщангата на две опори е необходимо по-голямо спомагателно време, тъй като за обработването на всеки отвор (детайл) тя се сваля от машината и се установява отново. Въпреки че борщангата е по-дълга, при двойното установяване се получават по-малки еластични деформации и съответно по-голяма точност на обработване при равни други условия.

Най-прости по конструкция са *борщангите с призматични ножове* (Фиг. 4.28). Ножовете се поставят перпендикулярно на оста на борщангата при обработване на проходни отвори (Фиг. 4.28 а, в, г) и наклонено - при обработване на стъпални и глухи отвори (Фиг. 4.28 б, д). Те се закрепват с винтове, клинове или щифтове. Борщангите, извършващи въртливо главно движение, трябва да осигуряват възможност за регулиране на ножовете на съответния радиален размер. Конструкциите, показани на Фиг. 4.28 г, д, е, имат тази възможност. Положението на ножа на Фиг. 4.28 г се регулира с винт, опиращ в задния му край. Ножът в конструкцията от Фиг. 4.28 д се настройва точно с винт, завит в задния му край, и контрагайка, след което се закрепва в борщангата. Настройването се извършва извън борщангата върху специални приспособления за настройване.



Фиг. 4.28. Закрепване и регулиране на ножовете в борщангите

Най-точно регулиране осигурява конструкцията от Фиг. 4.28 е. Ножът 2 се премества радиално чрез винта 3. Този винт има две стъпала с резба с различна стъпка. Стъпалото с по-малък диаметър се завива в ножа, а стъпалото с по-голям диаметър – в тялото 1 на борщангата. Ножът се закрепва с винта 4. При завиване на винта на един оборот ножът се измества радиално на разстояние, равно на разликата в стъпките на двете резби. По този начин може да се постигне точност на настройване $0,002\text{ mm}$.

Широко разпространение са получили борщангите с *механично закрепени сменяеми твърдосплавни пластини*. Режещите части на борщангите са оформени като отделни вложки (Фиг. 4.27 в), които се закрепват към тялото с винтове.

Разстъргващите глави (Фиг. 4.27 г) се подразделят на едноръбови и многоръбови според броя на режещите пластини. Едноръбовите глави обикновено се използват за чисто разстъргване на дълбоки отвори, тъй като с тях се постига по-висока точност. Те се характеризират с по-ниска производителност от многоръбовите. Разстъргването с едноръбова глава най-често се

прилага за довършителни операции, както и за груба и прецизна обработка на отвори в материали, при които водещо изискване е контролът върху стружкочупенето и стружкоотвеждането.

Разстъргването с многоръбова глава с две или три режещи пластини е типичен метод за груба обработка на отвори. Посредством този метод може да се постигне много висока производителност, като се използват разстъргващи глави с две или три режещи пластини, разположени на една и съща аксиална височина, които осигуряват много по-голямо отнемане на материал за един оборот на инструмента.

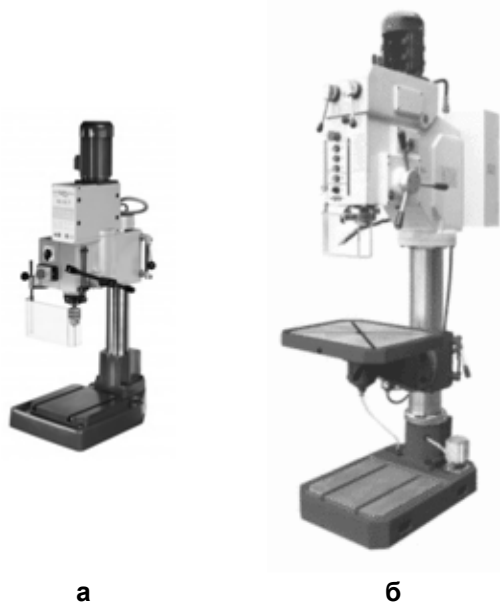
Разстъргването със стъпково подаване улеснява обработката на отвори в твърди материали чрез отстраняване на фините стружки и предпазване на борщангата от счупване и прегряване. При този метод режещите пластини са захванати на различни аксиални височини и диаметри.

4.3. ПРОБИВНИ И ПРОБИВНО-РАЗСТЪРГВАЩИ МАШИНИ – ВИДОВЕ И ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ

Пробивно-разстъргващи операции могат да бъдат извършвани както посредством специализирано оборудване, така и с помощта на металообработващи машини с общо предназначение, включително стругове, фрези и обработващи центри.

Пробивните и пробивно-разстъргващите машини са предназначени за обработване на светли и глухи отвори чрез свредловане, зенкерование, райберование, разстъргване и нарязване на резба (с помощта на метчик). Според начина на работа и конструктивните си особености те се подразделят на:

- ✓ вертикални пробивни машини;
- ✓ радиални пробивни машини;
- ✓ хоризонтални пробивно-разстъргващи машини;
- ✓ координатни пробивни машини;
- ✓ прецизни пробивно-разстъргващи машини;
- ✓ дълбокопробивни машини и др.



Фиг. 4.29. Вертикални пробивни машини
а – настолна; б - колонна

4.3.1. Вертикални пробивни машини

Вертикалните пробивни машини се подразделят на настолни и колонни (Фиг. 4.29).

Настолните вертикални пробивни машини са предназначени за обработване на отвори с диаметър до 16 mm. Те могат да бъдат установени върху специални поставки или маси, откъдето произлиза и тяхното наименование. Кинематиката на тези машини е силно опростена. Намират приложение главно в ремонтното и в единичното производство.

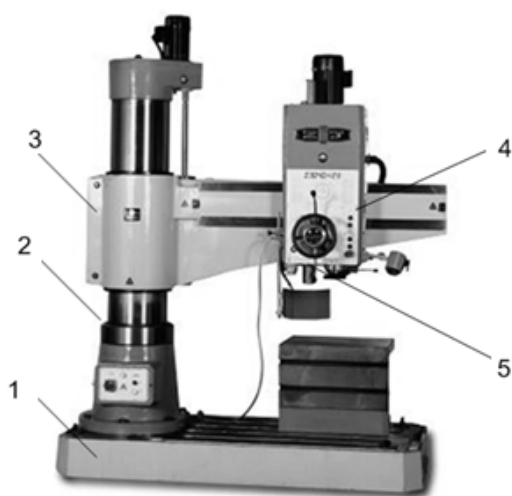
Колонните вертикални пробивни машини са предназначени за обработване на отвори с диаметър до 75 mm в детайли от малък и среден типоразмер.

4.3.2. Радиални пробивни машини

Радиалните пробивни машини намират приложение във всички типове машиностроително производство за обработване (пробиване, занкерование, райберование и нарязване на вътрешни резби с метчици) на неограничен брой отвори в рамките на една операция, независимо от различията в диаметрите им и изискванията за точност. Обработваните детайли са с максимални габаритни размери, съответстващи на размерите на куб със страна от 800 mm до 4000 mm, а диаметрите на обработваните отвори са в границите 25÷50 mm. В условията

на единично и дребносерийно производство отворите се пробиват по разчертаване, а в останалите типове производства се използват приспособления с направляващи втулки.

Външният вид на радиална пробивна машина е показан на Фиг. 4.30. На основата 1 е монтирана колоната 2, която може да се завърта установъчно около оста си. По колоната установъчно може да се движи вертикално рамото 3. По хоризонталните направляващи на рамото установъчно се придвижва пробивният супорт 4, в чийто корпус са разположени главният и подавателният превод и вретеното 5, което извършва главното въртеливо и подавателното праволинейно движение. Обикновено тези машини имат голям брой честоти на



Фиг. 4.30. Радиална пробивна машина

1- основа; 2 – колона; 3 - рамо; 4 – супорт;
5 - вретено

въртене (12 и повече) и голям брой стойности на подаването (над 10).

4.3.3. Хоризонтални пробивно-разстъргващи машини

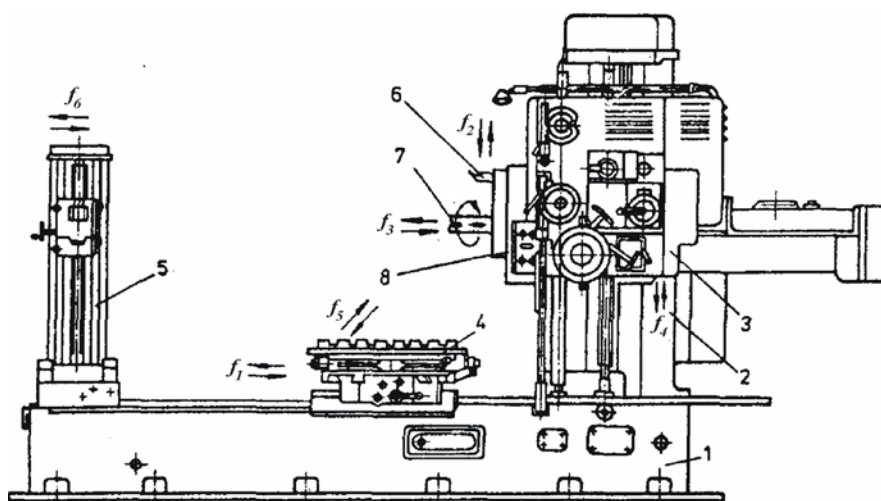
Хоризонталните пробивно-разстъргващи машини имат универсални възможности за обработване на голямогабаритни корпусни детайли в условията на единично и серийно производство. Върху тези машини могат да се извършват следните обработки: свредловане и разсвредловане на отвори, разстъргване, занкерование, райберование, нарязване на резби, разстъргване на цилиндрични и равнинни повърхнини, нарязване на външни резби, фрезование на равнинни повърхнини и др.

Външният вид на хоризонтална пробивно-разстъргваща машина е показан на Фиг. 4.31. Главното движение при обработване на отвори и нарязване на резби с метчици е въртеливо и се извършва от вретеното 7. При използване на разстъргващи инструменти, например борщанги, те се поставят върху планшайбата 8, която извършва главното въртеливо движение. Вретеното може да се премества в осово направление, като осъществява подавателното движение f_3 .

Детайлът се установява върху масата 4, която извършва праволинейни подавателни движения (f_1 и f_5) по две взаимноперпендикулярни оси, които в

зависимост от технологичната схема могат да бъдат работни или установъчни.

Вретеното 7 и планшайбата 8 могат да се преместват заедно със скоростната кутия 3 вертикално по предната стойка – движение f_4 , което също може да бъде работно подавателно или установъчно.



Фиг. 4.31. Хоризонтална пробивно-разстъргваща машина (борверг)

1 – основа; 2 – предна стойка; 3 – скоростна кутия; 4 – маса; 5 – задна стойка;

6 – борщанга; 7 – вретеното; 8 – планшайба

При разстъргване на равнинни (челни) повърхнини с борщангата 6 радиалното движение f_2 е работно подавателно, а при разстъргване на отвори – установъчно. Когато се използват борщанги с голяма дължина, като установъчно се използва движението f_6 на задната стойка 5 по направляващите на основата 1.

4.3.4. Координатни пробивни машини

Координатните пробивни машини са предназначени за обработване на отвори с голяма точност на разположението на осите помежду им, за чисто фрезование, както и за разчертаване (трасиране, маркиране) и контрол на линейни размери. Те са окомплектовани със специални приспособления и принадлежности, като въртящи маси с вертикална ос на въртене (за разчертаване и обработване на отвори, които са разположени по окръжност) и въртящи маси с наклонена ос на въртене (за обработване на отвори, които са разположени под ъгъл спрямо базовата повърхнина).

Главното движение на координатните пробивни машини е въртеливо и се осъществява от вретеното с инструмента, а подавателните движения обикновено са три - надлъжно и напречно преместване на масата с детайла и вертикално преместване на вретеното.

Точността на позициониране на вретеното спрямо обработвания детайл е в границите $0,005 \div 0,001 \text{ mm}$, което се постига чрез вграждане в машината на съответни измервателни устройства (оптични или електронни).

4.3.5. Агрегатни машини

Агрегатни машини се използват главно в условията на едросерийно и масово производство. Те са с много тясна специализация и се разработват за



Фиг. 4.32. Многоинструментална пробивна машина [90]

конкретен детайл в зависимост от разположението на отворите в него. Най-често всички отвори се обработват едновременно. Това гарантира високата производителност на машините от тази група. Режещите инструменти са размерни и позволяват пробиване, зенкерование и райберование на отвори, както и обработване на резби с метчици.

При разработване на агрегатни машини се ползват възли, които са създадени и изпитани самостоятелно. За конкретния детайл се разработват само установъчното приспособление и съответната многовретенна глава. Броят на позициите в една машина варира от една до над 20, като транспортната система също е нормализирана.

Един от възможните варианти за агрегатирание е използването на многоинструментални глави, при което на една установка се извършват няколко обработки (Фиг. 4.32).

С развитието на електронната техника и цифрово-програмното управление агрегатирането се използва все по-широко, като в практиката се използват машини с ЦПУ, върху които могат да се съвместяват различни технологични процеси (например струговане, пробиване и фрезование).

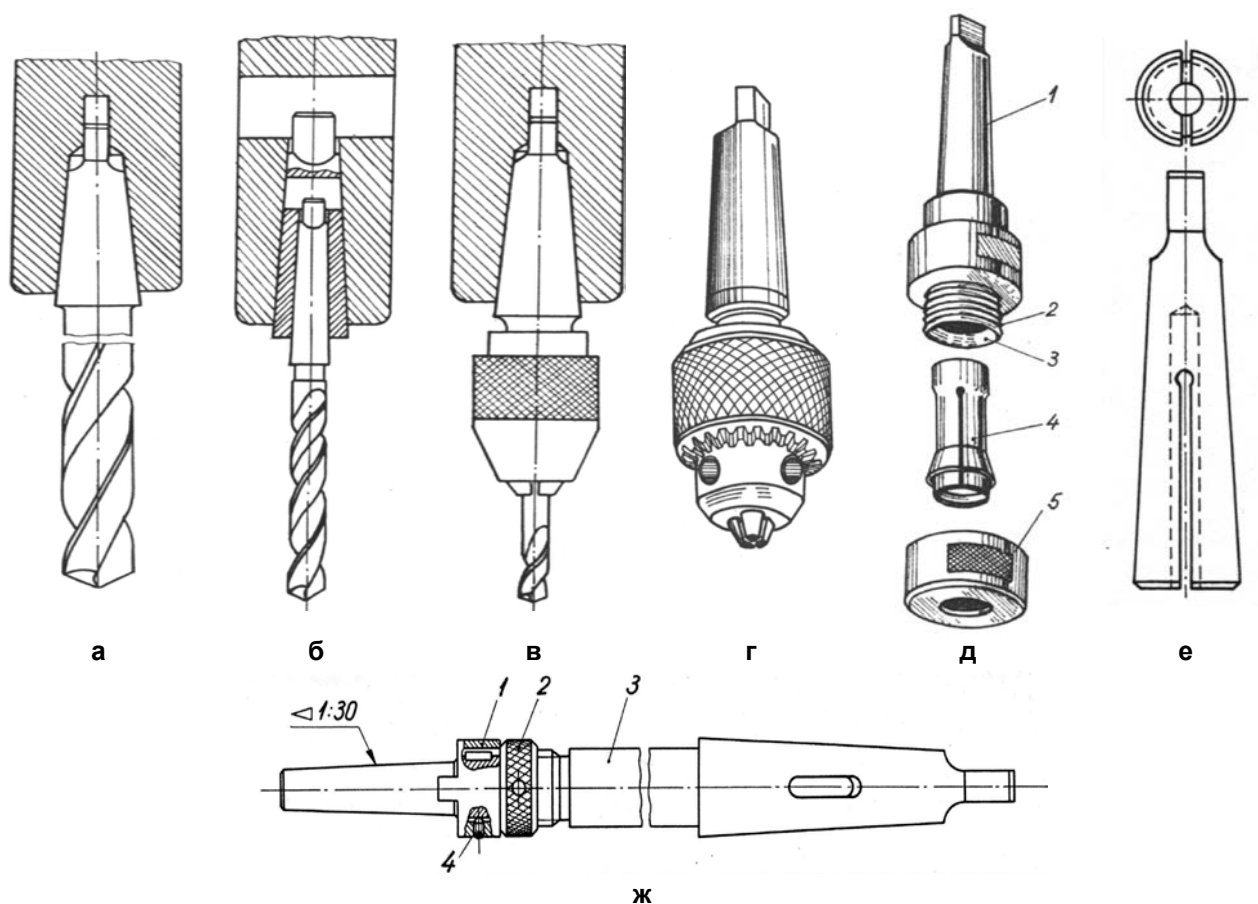
4.4. УСТАНОВЯВАНЕ НА РЕЖЕЩИТЕ ИНСТРУМЕНТИ КЪМ ПРОБИВНИ И ПРОБИВНО-РАЗСТЪРГВАЩИ МАШИНИ

Пробивните и пробивно-разстъргващите машини работят с голям брой различни режещи инструменти – свредла, зенкери, райбери, метчици, борщанги и др., съединителните части на които са различни по форма и размери. Инструментите трябва да са базирани точно и да са закрепени здраво и сигурно, за да могат да пренесат необходимия въртящ момент и подавателната сила. От начина на закрепването им и правилното им базиране зависят точността и производителността на обработването. Много често за постигане на определени изисквания отворите се обработват последователно с няколко инструмента при едно установяване. В такъв случай е необходимо начинът на установяване да позволява бързо и лесно закрепване и сваляне на различните инструменти.

Режещите инструменти се установяват към вретеното на пробивната машина непосредствено (Фиг.4.33 а) или с помощта на приспособления – преходни втулки (Фиг.4.33 б), патронници (Фиг.4.33 в, г, д) и дорници (Фиг.4.33 ж).

Режещи инструменти с конусна опашка, когато морзовите конуси на опашката и вретеното са еднакви, се установяват към вретеното на пробивната машина *непосредствено* (Фиг.4.33 а). Базирането е точно, а въртящият момент се предава основно чрез триене. Когато конусът на инструмента е по-малък от конуса на вретеното, се използват *преходни втулки* (Фиг.4.33 б). Точното

установяване на инструмента зависи от точността на изработване на втулките. Могат да се използват и няколко последователно поставени една в друга преходни втулки, но се влошава точността на установяване на инструмента поради сумиране на грешките на втулките.



Фиг. 4.33. Установяване на режещи инструменти към пробивни машини

а – непосредствено; б – с преходни втулки; в – с патронник; г – с пробивен патронник с челюсти; д – с цангов пробивен патронник (1 – тяло; 2 – резбова шийка; 3 – конусно гнездо; 4 – цанга; 5 – гайка); е – с прорязана втулка; ж – с дорник (1 – пръстен; 2 – гайка; 3 – тяло; 4 – фиксиращ винт)

За установяване на инструменти с цилиндрични опашки се използват самоцентриращи пробивни патронници с челюсти (Фиг.4.33 г). Те обхващат широк диапазон на диаметри на опашките, но не са достатъчно точни и надеждни. В сравнение с тях по-добри са цанговите пробивни патронници (Фиг.4.33 д), при които опашката на инструмента се закрепва в резултат на свиването на срязана втулка (цанга). Цангата 4 влиза в тялото 1 на патронника в отвор с конусно гнездо 3. Към външната резба 2 на тялото се завива гайка 5, при затягане на която цангата се свива и закрепва инструмента. При развиване на гайката цангата се разтваря еластично и освобождава инструмента. Към патронника има комплект от цанги с различен диаметър на отвора.

Инструменти с цилиндрични опашки могат да бъдат установявани към конусното гнездо на вретеното с помощта на прорязани втулки с цилиндрично гнездо (Фиг.4.33 е). При вмъкване на втулката във вретеното, тя се свива еластично и закрепва опашката на инструмента, осигурявайки добро центроване и малък излет.

Установяването на дорникови инструменти (зенкери, райбери) към машината се извършва с помощта на дорници (Фиг.4.33 *ж*). Дорникът има конусна присъединителна шийка, осигуряваща центроването на инструмента. Челните издътци на пръстена 1 се зацепват с челните напречни канали на зенкера или райбера и предават въртящия момент при работа. Пръстенът е монтиран на шпонка върху тялото 3 и може да се фиксира чрез винт 4 в положение, определено от кръглата гайка 2 с накатка. Гайката се използва и за снемане на режещия инструмент от дорника. За целта, след развиване на винта 4 и освобождаване на пръстена 1, с навиване на гайката инструментът се изтласква от присъединителната шийка.

Лапката към конусните опашки на инструментите или приспособленията се вмъква в напречния канал на гнездото във вретеното. Това предотвратява евентуално превъртане на опашката спрямо гнездото в началото на връзване на инструмента в обработвания детайл.

4.5. ОБРАБОТВАНЕ НА ОТВОРИ ВЪРХУ МАШИНИ С ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ

Върху CNC машини (пробивни, пробивно-разстъргващи и пробивно-разстъргващи-фрезови) се обработват отвори, предназначени за базиране и закрепване, с неголеми диаметри, гладки или стъпални, едностранни или двустранни, с канали, фаски и закръгления, разположени в една равнина или съсно в няколко успоредни равнини. Технологичните преходи за обработване на тези отвори са центроване, свредловане, разсвредловане, зенкерование, цековане, зенковане, райберование (предварително и окончателно), разстъргване, резбонарязване. Основните видове режещи инструменти за реализацията им са центрови свредла, винтови свредла, цилиндрични зенкери, челни зенкери, конусни зенкери, райбери, разстъргващи борщанги, метчици.

Последователността на преходите при обработването на отвори се избира, като се вземат предвид: конфигурацията и точността на отвора; допустимите изисквания за отклонения във формата и относителното разположение на оста на отвора; броят на групите от еднакви отвори за всяка страна на детайла; възможностите на машината с ЦПУ (точност и време за позициониране на масата на машината; време за смяна на инструмента и завъртане на револверната глава; брой на позициите на револверната глава и на инструменталния магазин).

На всяка технологична схема за обработване съответства определен набор от инструменти. При обработване на отвори с различни инструменти инструменталната екипировка се окомплектова така, че да осигури изпълнението на всички преходи от операцията. Ако броят на избраните инструменти превишава позициите на машината, то някои от инструментите могат да се заменят от комбинирани или обработката да се раздели на повече операции.

Възможни са **два варианта за обработване на отвори**:

- **успoredно** - всеки инструмент обработва всички отвори, подлежащи на обработване с него, след това инструментът се сменя и цикълът се повтаря;
- **последователно** - всеки отвор се обработва с набора от инструменти,

съответстващи на определената технологична схема, след което става позициониране за обработване на следващите отвори.

При избора на вариант стремежът е към осигуряване на максимална производителност чрез минимизиране на времето за обработване и осигуряване на допуски на междуцентровите разстояния.

Променливата част на времето за обработване (t_0) при двата варианта се формира от времето за позициониране на инструментите над отворите (t_n) и времето за смяна на инструментите (t_{cm}) в съответствие със зависимостите:

- при успоредно обработване:

$$t_{0,1} = \sum_{i=1}^n t_{cm_i} + n \sum_{j=1}^m t_{n_j}; \quad (4.13)$$

- при последователно обработване:

$$t_{0,2} = m \sum_{i=1}^n t_{cm_i} + \sum_{j=1}^m t_{n_j}, \quad (4.14)$$

където: n - брой на инструментите; m - брой на отворите; t_{cm_i} - време за смяна на i инструмент; t_{n_j} - време за позициониране на инструмента над j отвор.

Ако $t_{0,1} > t_{0,2}$, т.е. $(n-1) \sum_{j=1}^m t_{n_j} > (m-1) \sum_{i=1}^n t_{cm_i}$, по-производителен е вариантът с последователно обработване на отворите и обратно, ако $t_{0,1} < t_{0,2}$.

Обработването на отвори с малки допуски на междуцентровите разстояния се извършва последователно. Ако успоредното обработване за конкретния детайл е по-производително, то предварителните преходи (центроване, свредловане, зенкерование, цековане) се изпълняват успоредно, а окончателните (зенкерование, райберование, нарязване на резби) - последователно.

Последователността на обхождане на отворите се избира от условието за минимално време $\sum_{j=1}^m t_{n_j}$ или за минимална дължина на обхождащия път, като се отчита характерът на преместването (по една от осите или едновременно по две или три оси).

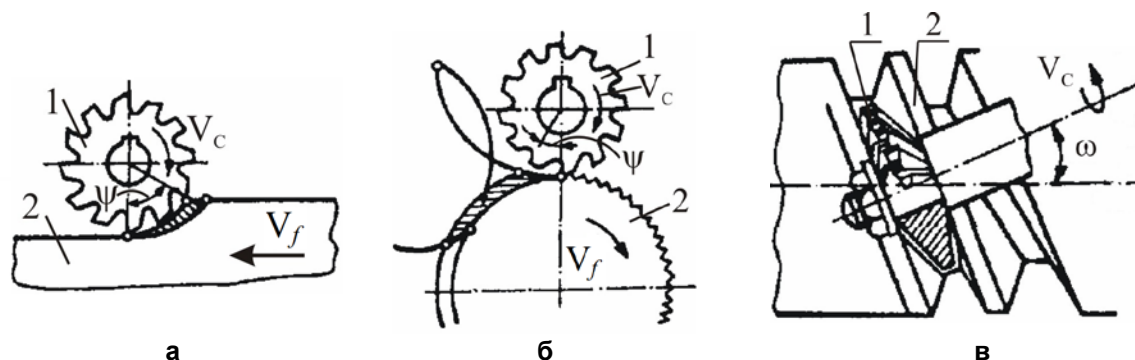
Повечето преходи за обработване на отвори се изпълняват за един проход. Траекторията на инструмента в границите на прохода се състои от работен и спомагателен ход. Работният ход съдържа три участъка - врязване, участък на рязане и излизане. Дължината на врязване се приема обикновено $5 \div 10 \text{ mm}$ за необработени повърхнини и $1 \div 3 \text{ mm}$ за предварително обработени повърхнини. Дължината на участъка за излизане зависи от дължината на режещата част на инструмента и се приема с $1 \div 3 \text{ mm}$ по-голяма от нея. При обработване на глухи отвори участъкът за излизане от работния ход липсва. На участъка за рязане траекторията на инструмента може да има междинни възлови точки, в които да се изменят честотата на въртене n_c и подавателната скорост V_f или се изпълняват процедурите включване, изключване, реверс. В границите на прохода са необходими спомагателни ходове за бързо подвеждане и отвеждане на инструмента.

5.1. ТЕХНОЛОГИЧНИ ВЪЗМОЖНОСТИ

Фрезоването е един от най-разпространените методи за механично обработване на равнини, канали (прави и винтови), профилни повърхнини (отворени, затворени, изпъкнали и вдлъбнати) и др. Процесът на рязане се осъществява от инструмент *фреза*, който се отнася към групата на въртящите се инструменти и представлява ротационно тяло (диск, цилиндър, конус), върху повърхнините на което са изработени режещи зъби. По производителност фрезоването надвишава струговането и стъргането и отстъпва само на протеглянето. Това се дължи на едновременната работа на множество режещи зъби, тъй като фрезите са многозъби инструменти. При грубо фрезование се достигат $11 \div 9$ степен на точност и грапавост $Ra = 2,5 \div 5 \mu m$, а при чисто и фино фрезование - $7 \div 6$ степен на точност и грапавост $Ra = 1,6 \div 0,4 \mu m$ [6, 48].

Кинематиката на процеса на рязане при фрезование се характеризира с въртливо главно движение на инструмента и праволинейно постъпателно, въртливо или комбинирано (винтово) подавателно движение (Фиг. 5.1).

С *праволинейно подавателно движение* (Фиг. 5.1 а) се извършва обработването на различни повърхнини и комбинации от повърхнини - равнинни повърхнини, канали и профилни повърхнини. С *въртливо подавателно движение* се обработват външни и вътрешни цилиндрични повърхнини (Фиг. 5.1 б), а с *винтово подавателно движение* – винтови повърхнини, например резби (Фиг. 5.1 в).



Фиг. 5.1. Кинематични схеми на фрезование

1 – фреза; 2 – обработван детайл

Процесът на рязане при фрезование се характеризира със следните особености:

1) Траекторията на всеки режещ зъб на фрезата спрямо обработвания детайл, описвана в работната установъчна равнина P_{fe} в резултат на относителните работни движения, е удължена циклоида. Тъй като скоростта на главното движение V_c е многократно по-голяма от скоростта на подавателното движение V_f , частта на циклоидата се заменя с дъга от окръжност. Така

повърхнината на рязане се получава цилиндрична с диаметър D_w . Дебелината на срязвания слой се променя от нула до максимум или обратно, а широчината му може да бъде постоянна или променлива. На непрекъснатото изменение на размерите на срязвания слой се дължат промените на напречното сечение и на големината и направлението на силата на рязане, както и неравномерността на процеса фрезозане.

2) Процесът на рязане е прекъснат, т.е. зъбите на фрезата се връзват и работят периодично в обработвания материал. Рязането може да бъде свободно или несвободно, правоъгълно или неправоеъгълно, стационарно или нестационарно.

3) Срязваната стружка трябва свободно да се помества между зъбите на инструмента, поради което обемът на стружковите канали трябва да е по-голям от обема на стружката.

При фрезозане се дефинират:

- моментен ъгъл δ (ъгъл на отклонение на подавателното движение), който показва моментното положение на зъба на фрезата спрямо повърхнината на рязане;

- контактен ъгъл (ъгъл на рязане) ψ , определящ контакта между фрезата и обработвания детайл (дължината на повърхнината на рязане) и заключен между ъгъла на връзване δ' и ъгъла на излизане δ'' на зъба на фрезата в и от детайла - $\psi = \delta'' - \delta'$;

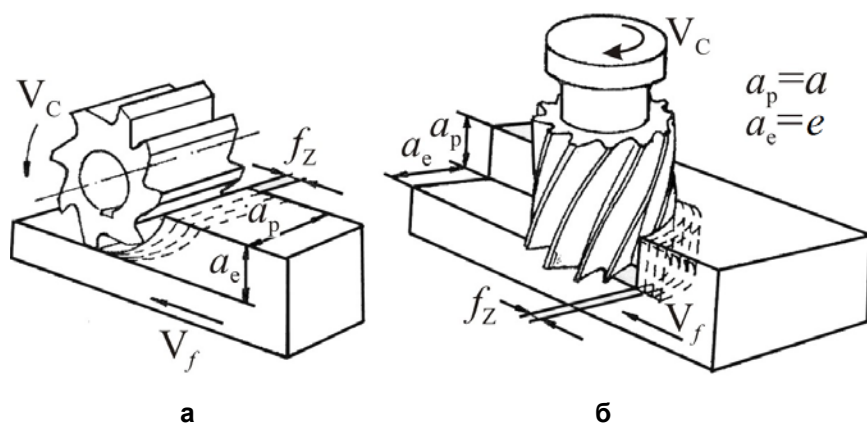
- централен ъгъл ϕ между два съседни зъба на фрезата.

Фрезозането е **цилиндрично** (Фиг. 5.2 а) и **челно** (Фиг. 5.2 б).

Фрезозането е цилиндрично, когато оста на фрезата е успоредна на обработената повърхнина и рязането се извършва с разположените по цилиндричната повърхнина на инструмента зъби. Към него се причислява и фрезозането с конусни фрези.

Когато оста на фрезата е перпендикулярна на обработената повърхнина и рязането се осъществява със зъбите, разположени по челната и цилиндричната повърхнина на инструмента, фрезозането е челно.

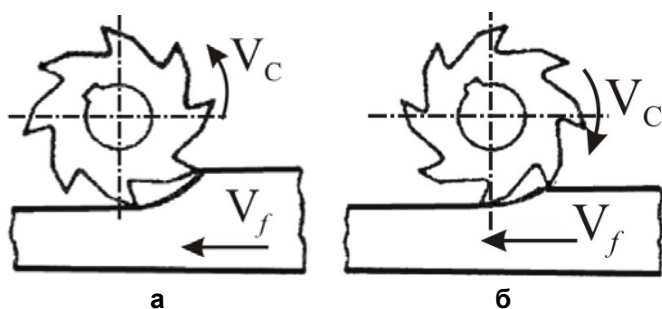
Цилиндричното фрезозане е два вида: *насрещно* и *еднопосочно*. При



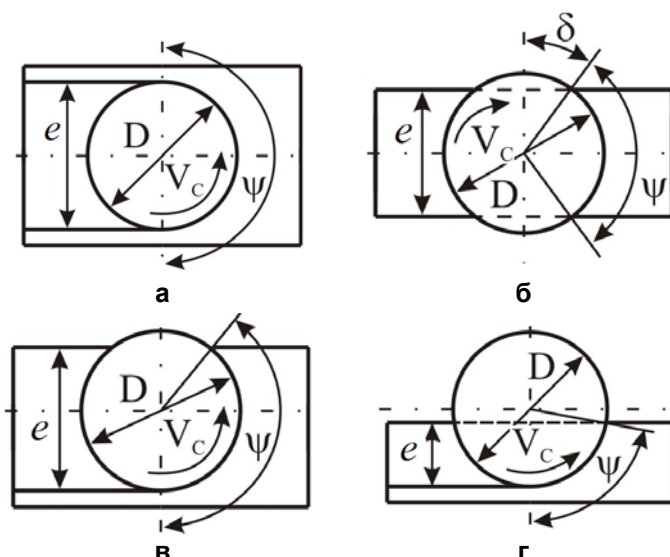
Фиг. 5.2. Видове фрезозане

а – цилиндрично; б – челно

насрещно фрезозане (Фиг. 5.3 а) посоките на векторите на скоростите на главното и подавателното движение са противоположни, а при еднопосочно фрезозане (Фиг. 5.3 б) - съвпадат. При насрещно фрезозане моментният ъгъл се изменя от 0° , когато зъбът се връзва в детайла, до стойността



Фиг.5.3. Видове цилиндрично фрезозане
а – насрещно; б - еднопосочно



Фиг.5.4. Видове челно фрезозане
а – пълно симетрично; б – непълно симетрично;
в – пълно несиметрично; г - непълно несиметрично

на контактния ъгъл ψ . При попълно фрезозане връзването на зъба се осъществява при $\delta > 0^\circ$, а излизането му при $\delta = 180^\circ$.

В зависимост от разположението на оста на челната фреза с диаметър D спрямо оста на симетрия на обработената повърхнина с широчина e (Фиг. 5.4) се различават *симетрично* и *несиметрично челно фрезозане*. При симетричното фрезозане оста на фрезата съвпада с оста на симетрия на обработената повърхнина.

Челното фрезозане може да бъде *пълно* и *непълно* в зависимост от съотношението на размерите на диаметра D и на широчината на фрезозане e . Когато $D = e$ и контактният ъгъл $\psi = 180^\circ$, челното фрезозане е пълно (Фиг. 5.4 а), а когато $D > e$ ($D/2 > e$) и контактният ъгъл $\psi < 180^\circ$ ($\psi < 90^\circ$) - непълно

(Фиг. 5.4 б, в, г). Непълното челно фрезозане може да бъде симетрично (фиг. 5.4 б) и несиметрично (Фиг. 5.4 в, г), като големината на контактния ъгъл се определя от зависимостите:

- $\psi = 2 \arcsin \frac{e}{D}$ - при непълно симетрично фрезозане;
- $\psi = \arccos \left(1 - \frac{2e}{D} \right)$ - при непълно несиметрично фрезозане.

5.2. РЕЖИМ НА РЯЗАНЕ

5.2.1. Елементи на режима на рязане и срязвания слой

Процесът фрезозане се характеризира с:

- *технологични елементи на режима на рязане* – дълбочина на рязане a ($a = a_p$ - осова дълбочина на рязане), подаване (подаване на зъб f_z , подаване на оборот f и минутно подаване f_m), скорост на рязане V_c и широчина на фрезозане e ($e = a_e$ - радиална дълбочина на рязане) (Фиг. 5.2);

- *физични елементи на срязвания слой материал* – дебелина h , широчина b и площ на напречното сечение A ;

- допълнителни елементи – интензивност на рязане W_c , време на рязане t_c , брой едновременно работещи зъби z_e .

А. Елементи на режима на рязане и срязвания слой при челно фрезоване (Фиг. 5.5)

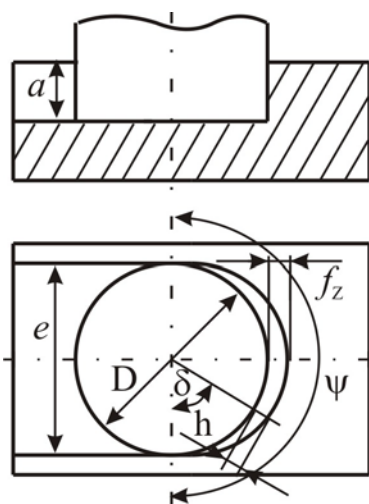
Скоростта на рязане V_c е равна на периферната скорост на фрезата и се определя по зависимост (1.4), в която D е диаметърът на фрезата.

Подаването е преместването в посока на подавателното движение. При фрезоване се дефинират три вида подавания, т.к. процесът се извършва с многозъб инструмент. *Подаването на зъб* $f_z, mm/z$, е преместването на обработвания детайл за времето на завъртане на фрезата на централния ъгъл φ и се явява основна характеристика на процеса на рязане. *Подаването на оборот* $f, mm/rev$, е преместването на детайла за едно завъртане на инструмента и отчита влиянието на броя на зъбите му – $f = f_z \cdot z$. *Минутното подаване* $f_m, mm/min$, е преместването на детайла за една минута. Това подаване е основна характеристика на подавателните преводи на фрезовите машини. Използва се за пресмятане на подавателната скорост V_f , подаването на оборот f и подаването на зъб f_z в съответствие със зависимостите:

$$V_f = f_m \cdot 10^{-3}, m/min; f = f_m / n, mm/rev; f_z = f / z, mm/z. \quad (5.1)$$

Дълбочината на рязане a, mm , е размерът на врязването на режещия ръб в обработвания детайл, измерен перпендикулярно на установъчната равнина P_f , т.е. успоредно на оста на фрезата.

Широчината на фрезоване e, mm , е широчината на контакта на режещия инструмент и обработвания детайл, измерена в направление, успоредно на установъчната равнина P_f и перпендикулярно на скоростта V_f , т.е. перпендикулярно на оста на фрезата (размерите e , f_z и a са разположени във взаимноперпендикулярни равнини).



Фиг. 5.5. Елементи на режима на рязане и на срязвания слой при челно фрезоване

Дебелината на срязвания слой h, mm , е разстоянието между повърхнините на рязане, образувани от режещите ръбове на два съседни зъба на фрезата, измерено в нормално на тях направление. Ако се приеме циклоидната траектория на движението на точка от режещия ръб на фрезата за окръжност, дебелината на срязвания слой се измерва в радиално направление.

Дебелината на срязвания слой h е променлива величина в зависимост от положението на зъба, определено от моментния ъгъл δ . При челно фрезоване моментният ъгъл δ се отчита от перпендикулярния на подавателното движение диаметър на фрезата, а не от момента

на врязване на зъба. При пълно симетрично челно фрезование врязването е при $\delta' = 0^\circ$, а при непълното фрезование $\delta' \neq 0^\circ$.

Изменението на дебелината на срязвания слой се изразява със зависимостта:

$$h = f_z \sin \delta \sin \kappa_r, \text{ mm}, \quad (5.2)$$

където κ_r е главният установъчен ъгъл.

Максималната стойност на дебелината на срязвания слой се получава при $\delta = 90^\circ$ - $h_{\max} = f_z \sin \kappa_r$ или $h_{\max} = f_z$, когато $\kappa_r = 90^\circ$. Дебелината на срязвания слой намалява в местата на врязване и излизане на зъба в и от обработвания детайл. Тя зависи от отношението на широчината на фрезование e и диаметъра на фрезата D , както и от разположението на фрезата спрямо детайла (Фиг. 5.4).

Средната дебелина h_m на срязвания слой се определя от зависимостта:

$$h_m = \int_{\delta'}^{\delta''} \frac{h}{l_c} \frac{D}{2} d\delta, \quad (5.3)$$

където: $l_c = \frac{D}{2} \psi$ - дължина на контакта.

След заместване на (5.2) в (5.3), за средната дебелина на срязвания слой се получава:

$$h_m = \frac{f_z \sin \kappa_r}{\delta'' - \delta'} \int_{\delta'}^{\delta''} \sin \delta d\delta = \frac{f_z \sin \kappa_r}{\delta'' - \delta'} (\cos \delta' - \cos \delta''). \quad (5.4)$$

Като се вземе предвид, че $\delta'' - \delta' = \psi$, $\cos \delta' = \frac{E + 0,5e}{0,5D}$ и $\cos \delta'' = \frac{E - 0,5e}{0,5D}$

(E - ексцентрицитет при несиметрично челно фрезование), за средната дебелина на срязвания слой се получава:

$$h_m = \frac{2ef_z}{D\psi} \sin \kappa_r. \quad (5.5)$$

Средната дебелина на срязвания слой при непълно несиметрично челно фрезование се определя при ъгъл $\delta = \psi/2$. Като се вземе предвид, че

$\sin \frac{\psi}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos \psi}{2}} = \sqrt{\frac{e}{D}}$, за h_m се получава:

$$h_m = f_z \sqrt{\frac{e}{D}}. \quad (5.6)$$

Широчината на срязвания слой b , mm, е постоянна по стойност и се определя от зависимостта:

$$b = \frac{a}{\sin \kappa_r}. \quad (5.7)$$

Широчината на срязвания слой и широчината на фрезование са независими величини.

Броят на едновременно работещите зъби z_e се определя от отношението на контактния ψ и централния ъгъл φ :

$$z_e = \frac{\psi}{\varphi} = \frac{\psi \cdot z}{360^\circ}. \quad (5.8)$$

Броят на едновременно работещите зъби може да се получи цяло число, обикновена или смесена дроб. При $z_e < 1$ фрезата реже с един зъб и при излизането му от детайла се врязва следващият зъб. При $z_e = 1, 2, \dots$ (когато ъглите ψ и φ са равни или кратни помежду си) фрезата реже винаги с точен брой зъби, т.е. моментът на излизане на даден зъб съвпада с момента на врязване на друг зъб на инструмента. Ако z_e е смесена дроб, например $z_e = 2,7$, през 70% от времето на завъртане на фрезата на ъгъла ψ ще работят 3 зъба, а през останалите 30% - два зъба. Обикновено за z_e се взема по-голямото цяло число.

Площта на напречното сечение на срязвания слой от един зъб на фрезата е:

$$A_z = hb, \text{ mm}^2. \quad (5.9)$$

Общата площ на материала, срязван от всички едновременно работещи зъби, е:

$$A = \sum_{i=1}^{z_e} h_i b = f_z a \sum_{i=1}^{z_e} \sin \delta_i, \text{ mm}^2. \quad (5.10)$$

Площта A е най-голяма при пълно симетрично челно фрезозане ($z_e = 0,5z$). При непълното фрезозане площта е по-малка и зависи от схемата на рязане (симетрично или несиметрично фрезозане) и от отношението e/D .

Интензивността на процеса рязане W_c и средната обща площ A_m на напречното сечение на срязвания слой се определят от зависимостите:

$$W_c = eaf_m = eazf_z n, \text{ mm}^3 / \text{min}; \quad (5.11)$$

$$A_m = \frac{W_c}{V_c} = \frac{eazf_z n}{\pi D n} = \frac{eazf_z}{\pi D}, \text{ mm}^2. \quad (5.12)$$

Изменението на общата площ на напречното сечение на срязвания слой от $A_{\min}$ до $A_{\max}$ се изразява с коефициента на неравномерност:

$$\mu = \frac{A_{\max}}{A_m}. \quad (5.13)$$

При челно фрезозане коефициентът на неравномерност се определя от зависимостта:

$$\mu = \frac{\pi \sum_{i=1}^{z_e} \sin \delta_i}{z \frac{e}{D}}. \quad (5.14)$$

Коефициент на неравномерност, близък до единица, може да се получи чрез избор на диаметър и брой на зъбите на фрезата при зададена широчина на

фрезование. При дадено отношение e/D най-малка стойност на μ се получава, когато броят на едновременно работещите зъби е цяло число.

Времето на рязане за един ход се определя от зависимостта:

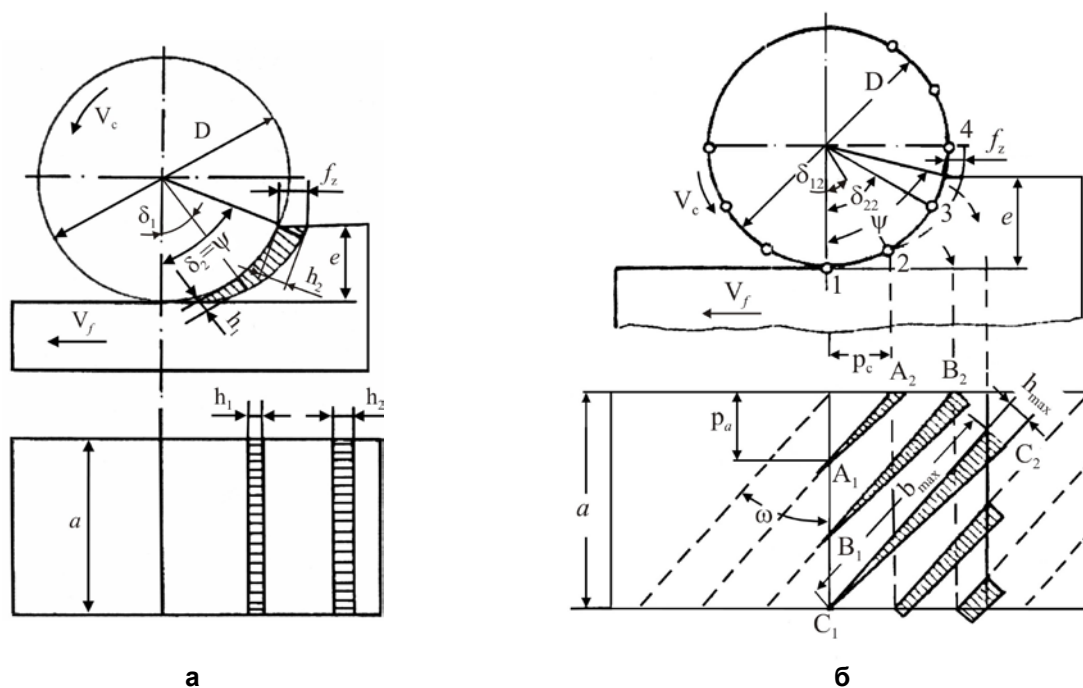
$$t_c = \frac{L_p}{f_m} = \frac{L_p}{zf_z n}, \text{ min.} \quad (5.15)$$

Б. Елементи на режима на рязане и срязвания слой при цилиндрично фрезование (Фиг. 5.6)

Елементите на режима на рязане, елементите на срязвания слой и допълнителните елементи при цилиндрично фрезование са аналогични на тези при непълно несиметрично челно фрезование. При цилиндрично фрезование главният установъчен ъгъл $\kappa_r = 90^\circ$.

Б.1. Елементи на режима на рязане и срязвания слой при цилиндрично фрезование с фреза с прави зъби (Фиг. 5.6 а)

Дълбочината на рязане a и широчината на срязвания слой b са равни и постоянни величини за целия контактен ъгъл ψ .



Фиг. 5.6. Елементи на режима на рязане и на срязвания слой при цилиндрично фрезование

а - с фреза с прави зъби; б - с фреза с винтови зъби

При еднопосочно фрезование дебелината на срязвания слой се променя от максимална стойност ($h_{\max} = f_z \sin(180^\circ - \psi) = f_z \sin \psi$) до нула. Зъбите на фрезата са подложени на ударно натоварване, когато се врязват в обработвания материал. Затова еднопосочното фрезование не се препоръчва при обработване на заготовки с твърда кора (отливки, изковки и др.).

Дебелината на срязвания слой h е еднаква по дължината на зъба и променлива по дължината на дъгата на повърхнината на рязане:

$$h = f_z \sin \delta. \quad (5.16)$$

При насрещно фрезование дебелината на срязвания слой се изменя непрекъснато от нула до максимална стойност $h_{\max} = f_z \sin \psi$, като процесът на рязане започва при $h \neq 0$ и $\delta \neq 0^\circ$. Следователно всеки зъб на фрезата изминава известен път на плъзгане, докато се достигне минимална за започване на рязането дебелина. Това плъзгане на зъба поражда триене, увеличава интензивността на износването и намалява трайността на фрезата.

Напречното сечение на срязвания слой е правоъгълно, а неговата площ A_z за всеки зъб се изменя в зависимост от моментното му положение – при насрещно фрезование от нула до максимална стойност, а при едноточечно – от максимална стойност до нула.

Общата площ на напречното сечение на срязвания слой има променлива стойност и се определя по зависимост (5.10).

Б.2. Елементи на режима на рязане и срязвания слой при цилиндрично фрезование с фреза с винтови зъби

При цилиндрично фрезование с фреза с винтови зъби режещите ръбове на зъбите се врязват и излизат от обработвания детайл постепенно (Фиг. 5.6 б). В зависимост от положението на режещите ръбове сечението на срязвания слой е триъгълник (зъби 1, 2 и 3) или трапец (зъби 4 и 5).

Дебелината на срязвания слой материал h_{ij} има различни стойности по дължината на зъба и по дължината на контакта с обработвания детайл:

$$h_{ij} = h'_{ij} \cos \omega = f_z \sin \delta_{ij} \cos \omega, \quad (5.17)$$

където: i – пореден номер на зъба на фрезата; j – положение на точка от режещия ръб спрямо повърхнината на рязане; h'_{ij} – дебелина на срязвания слой в радиално направление.

В точките на врязване $A_1, B_1, C_1, \dots$ дебелината на срязвания слой е нула. Тя нараства пропорционално по дължината на режещите ръбове и в т. $A_2, B_2, C_2, \dots$ е най-голяма.

Широчината на срязвания слой b_i равномерно нараства от нула до $b_{\max}$ и отново намалява до нула. Моментната ѝ стойност зависи от ъгъла ω и стойностите на моментните ъгли на крайните точки от режещия ръб:

$$b_i = \frac{D(\delta_{i2} - \delta_{i1})}{2 \sin \omega}; \quad (i = 1, 2, \dots, z_e). \quad (5.18)$$

Максималната възможна стойност на широчината на срязвания слой зависи от дълбочината на рязане:

$$b_{\max} = \frac{a}{\cos \omega}. \quad (5.19)$$

Площта на сечението на срязвания слой A_{z_i} е променлива величина. Големината ѝ се определя от елементарната площ $dA_{z_i} = h_i db_i$:

$$A_{z_i} = \frac{Df_z}{2\operatorname{tg}\omega} \int_{\delta_{i1}}^{\delta_{i2}} \sin \delta_i d\delta_i = \frac{Df_z}{2\operatorname{tg}\omega} (\cos \delta_{i1} - \cos \delta_{i2}). \quad (5.20)$$

Общата площ на срязвания слой материал от всички едновременно работещи зъби е:

$$A = \frac{Df_z}{2\operatorname{tg}\omega} \sum_{i=1}^{z_e} (\cos \delta_{i1} - \cos \delta_{i2}), \text{ mm}^2. \quad (5.21)$$

Броят на едновременно работещите зъби z_e при фрезозане с фреза с винтови зъби се определя с формулата:

$$z_e = \frac{\psi}{\varphi} + \frac{a}{p_a} = z_e' + k, \quad (5.22)$$

където: z_e' - брой едновременно работещи зъби при фрезозане с фреза с прави

зъби; p_a - осова стъпка на фрезата; $k = \frac{a}{p_a} = \frac{az}{\pi D} \operatorname{tg}\omega$ - безразмерна величина, с

която се отчита непрекъснатото врязване на част от един зъб и излизането на част от друг, предшестващ зъб на фрезата.

Коефициентът на неравномерност в съответствие със зависимост (5.13) се определя от формулата:

$$\mu = \frac{Df_z \sum_{i=1}^{z_e} (\cos \delta_{i1} - \cos \delta_{i2})}{2ea}. \quad (5.23)$$

След преобразуване на зависимост (5.23), като се отчете, че ъглите δ_{i1} и δ_{i2} , заместени в уравнението, се анулират с изключение на последния ъгъл

$\delta_{i2} = \psi = \arccos \left(1 - \frac{2e}{D} \right)$, за коефициента на неравномерност се получава:

$$\mu = \frac{p_a}{a} = \frac{1}{k}. \quad (5.24)$$

Фрезозането е равномерно, когато k е цяло число (1, 2, 3 и т.н.), т.е. дълбочината на рязане a е кратна на осовата стъпка p_a .

Равномерно фрезозане може да се получи само при работа с фреза с винтови зъби чрез целесъобразно подбиране на конструктивните и геометричните елементи на фрезата (D, z, ω) и на дълбочината на рязане.

5.2.2. Определяне на режима на рязане

- Определяне на дълбочината на рязане

Дълбочината на рязане a се определя в зависимост от големината на прибавката Z , като стремежът е тя да се снесе за минимален брой ходове i .

При грубо фрезозане прибавката обикновено се сменя за един ход ($a = Z$). Когато прибавката е голяма или машината е с малка стабилност, фрезозането се извършва за няколко хода, като последният е с най-малка дълбочина на рязане.

При получисто и чисто фрезозане с фрези от бързорежеща стомана

прибавката се сменя за един ход, ако $Z < 5 \text{ mm}$, и за два хода, ако $Z > 5 \text{ mm}$ (вторият ход е с дълбочина $a = 0,75 \div 2 \text{ mm}$). Ако фрезването се извършва с твърдосплавни фрези при $Z \leq 12 \div 15 \text{ mm}$, цялата прибавка се сменя за един ход или се използва стъпална фреза [6, 48].

- *Определяне на подаването на зъб*

За да се осигури висока производителност, при фрезване се избира максималното възможно подаване, големината на което е ограничена от якостта на режещата част на фрезата, якостта и стабилността на дорника (за фрези, установени на дорник), якостта на подавателния механизъм на машината, точността и грапавостта на обработената повърхнина и др.

1. *Определяне на допустимото подаване от якостта на зъба на фрезата*

Допустимото подаване се определя от условието $M_{oz} \leq W[\sigma_{oz}]$, където

$M_{oz} = F_c H = C_{F_c} a^{x_{F_c}} f_z^{y_{F_c}} D^{z_{F_c}} e^{u_{F_c}} z^{r_{F_c}} K_{F_c} H$ и $W = \frac{lc^2}{6}$ (W - съпротивителен момент на зъба на фрезата, mm^3 ; $[\sigma_{oz}]$ – допустимото напрежение на огъване, Pa ; H , l и c - височина, дължина и дебелина на основата на зъба, mm):

$$f_{z1} \leq y_{F_c} \sqrt{\frac{lc^2[\sigma_{oz}]}{6.C_{F_c} a^{x_{F_c}} D^{z_{F_c}} e^{u_{F_c}} z^{r_{F_c}} K_{F_c} H}}, \text{ mm/z.} \quad (5.25)$$

2. *Определяне на допустимото подаване от якостта и стабилността на дорника*

Допустимото подаване f_{z2} от якостта и стабилността на дорника се определя по аналогична на (5.25) зависимост. Изхожда се от допустимата якост на огъване на дорника от нормалната сила на рязане F_p , предизвикваща максимално провисване на дорника $0,2 \text{ mm}$ при грубо и $0,05 \text{ mm}$ при чисто обработване, като F_p се изразява чрез силата F_c .

3. *Определяне на допустимото подаване от якостта на подавателния механизъм*

Допустимото подаване f_{z3} от якостта на подавателния превод се определя от условието хоризонталната сила да е по-малка от допустимата от подавателния механизъм сила - $F_h \leq [F_h]$. Силата F_h се изразява чрез силата F_c и след заместване в неравенството се получава зависимост за допустимото подаване на зъб.

4. *Определяне на допустимото подаване от точността и грапавостта на обработената повърхнина*

При чисто фрезване подаването на зъб се избира в зависимост от грапавостта на обработената повърхнина, като се използва следната приблизителна формула за определянето му: $f_{z4} \approx 0,04 R_z$. Обикновено подаването на зъб е в границите $0,02 \div 0,15 \text{ mm/z}$ [6]. Фрезите от бързорежеща стомана допускат големи подавания от фрезите от твърдосплавни материали.

От всички определени допустими стойности на подаването на зъб се избира най-малката - $f_z = \min(f_{z_1}, f_{z_2}, f_{z_3}, f_{z_4})$.

- *Определяне на скоростта на рязане*

Скоростта на рязане се ограничава от режещата способност на фрезата (трайността на фрезата T) и от ефективната мощност на металорежещата машина ($P_{ef} = P_m \eta$) в съответствие със зависимостите:

$$V_{CT} = \frac{C_{Vc} D^{z_{Vc}}}{T^m a^{x_{Vc}} f_z^{y_{Vc}} e^{u_{Vc}} z^{r_{Vc}}} K_{Vc}, m/min; \quad (5.26)$$

$$V_{CP} = \left(\frac{60 \cdot 10^3 P_m \eta}{C_{Fc} a^{x_{Fc}} f_z^{y_{Fc}} D^{z_{Fc}} e^{u_{Fc}} z^{r_{Fc}} K_{Fc}} \right)^{\frac{1}{1-n_{Fc}}}, m/min, \quad (5.27)$$

където коефициентите C_{Vc} , C_{Fc} , степенните показатели m , x_{Vc} , y_{Vc} , u_{Vc} , r_{Vc} , x_{Fc} , y_{Fc} , z_{Fc} , u_{Fc} , r_{Fc} , n_{Fc} и корекционните коефициенти K_{Vc} и K_{Fc} се определят от таблици [48]. Трайността на фрезите е по-голяма от тази на другите инструменти, защото те са технологично и конструктивно по-сложни и скъпи инструменти.

Технологичната скорост на рязане $V_{CTехн}$ е по-малката от двете скорости V_{CT} и V_{CP} . С нея се пресмята необходимата честота на въртене:

$$n = \frac{10^3 V_{CTехн}}{\pi D}, min^{-1}. \quad (5.28)$$

Честотата на въртене се избира така, че да е изпълнено условието $n_m \leq n$.

- *Определяне на минутното подаване*

С така определените стойности на честотата на въртене n_m и подаването на зъб f_z се определя минутното подаване $f_m = z f_z n_m, mm/min$, след което от наличните подавания на машината се избира $f_{mm} \leq f_m$ и се преизчислява подаването на зъб.

Определените елементи на режима на рязане служат за определяне на времето на рязане t_c :

$$t_c = \frac{L_p i}{f_{mm}}, min, \quad (5.29)$$

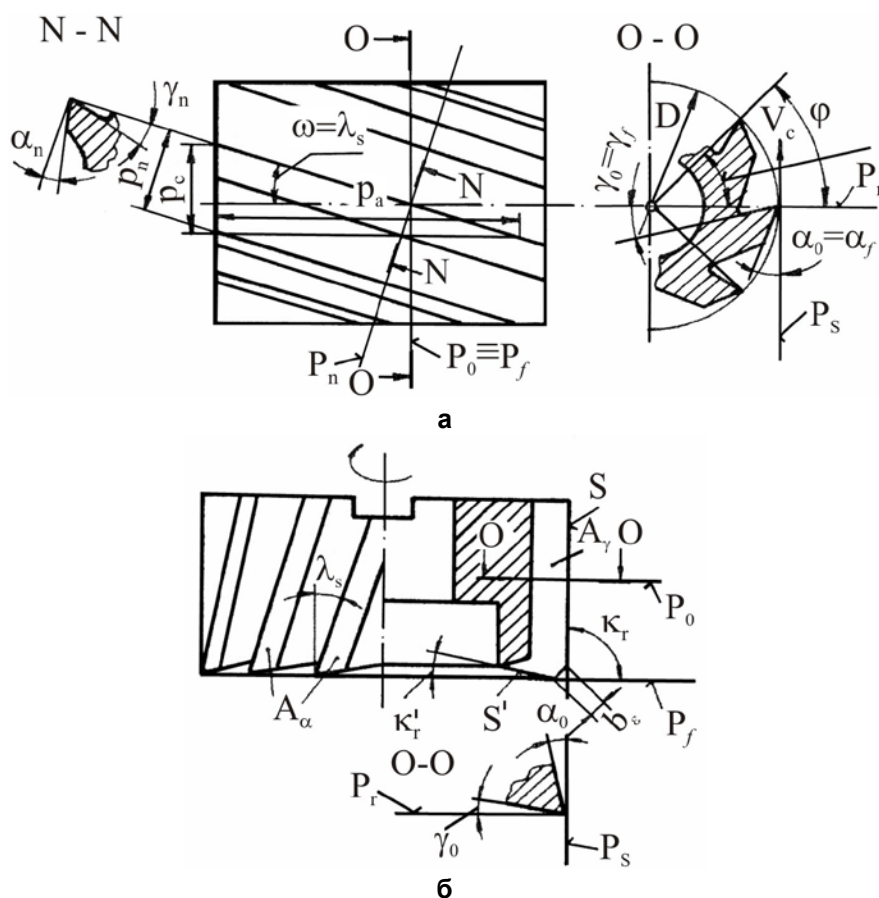
където L_p е дължина на работния ход на фрезата - $L_p = L + L_1 + L_2$ (L - дължина на повърхнината; L_1 - дължина за врязване: $L_1 = \sqrt{e(D-e)}$ - за цилиндрично фрезозане; $L_1 = 0,5(D - \sqrt{D^2 - a^2})$ - за челно несиметрично фрезозане; $L_1 = \sqrt{a(D-d)}$ - за челно симетрично фрезозане; $L_2 = 2 \div 5 mm$ - дължина за излизане на фрезата от обработвания детайл.

5.3. РЕЖЕЩИ ИНСТРУМЕНТИ ЗА ФРЕЗОВАНЕ

5.3.1. Конструктивни и геометрични елементи на фрези

Фрезите са въртящи се, многоръбови и осови инструменти. Те представляват ротационни тела с голям брой режещи зъби, разположени върху образуващите или челните повърхнини, както и комбинирано. Предназначени са за обработване на равнинни, профилни, ротационни и винтови повърхнини. Най-широко приложение намират фрезите с цилиндрична форма, чиито зъби са разположени по цилиндричната или по цилиндричната и по челните повърхнини. В сравнение с цилиндричните, челните фрези имат следните предимства: по-плавно рязане поради по-големия брой едновременно работещи зъби и по-големия контакт на фрезата с обработвания детайл; издържат на по-големи натоварвания; работят с повишени режими на рязане и осигуряват по-висока производителност.

Основните конструктивни и геометрични елементи на фрезите са (Фиг. 5.7): диаметър на инструмента D ; дължина на работната част L ; брой на режещите зъби z ; централен ъгъл $\varphi = 360^\circ / z$; окръжна стъпка между два съседни зъба - $p_c = \pi D / z$; осова стъпка на фреза с винтови зъби - $p_a = \pi D / (z \tan \omega)$; нормална стъпка $p_n = \pi D \cos \omega / z$; ъгъл на наклона на винтовия канал ω - ъгъл между оста на инструмента и допирателната към винтовата линия по външния диаметър ($\omega = 0^\circ$ при фреза с прави зъби). Броят на предните A_γ и задните A_α повърхнини



Фиг. 5.7. Конструктивни и геометрични елементи на фрези
а - цилиндрична фреза; б - челна фреза

и на режещите ръбове на фрезите е равен на броя на зъбите z . Между зъбите на фрезите се намират стружкови канали, обемът на които трябва да е по-голям от обема на стружките.

Външният диаметър D и дължината L на фрезите са стандартизирани. При един и същ диаметър броят на зъбите z може да бъде различен - $z = 4 \div 14$.

Външният диаметър D на фрезите оказва влияние както върху процеса фрезозаване, така и върху

конструктивните елементи на фрезите. С увеличаване на диаметъра се намаляват дебелината на срязвания слой и натоварването на зъбите, подобрява се топлоотвеждането, зъбите са с по-голяма якост, създава се възможност за увеличаване на базиращия диаметър и на останалите конструктивни елементи, обезпечаващи якостта на фрезата като цяло. С увеличаване на диаметъра обаче се увеличава машинното време. Затова при монолитните фрези трябва да се приемат минимални стойности на диаметъра. Минималните гранични стойности на диаметъра на дорниковите фрези зависят от минимално допустимата стойност на диаметъра d на базиращия отвор, определена от якостното или деформационното пресмятане на дорника. На практика се използва зависимостта $D = (2,2 \div 2,3)d$, като определените стойности се закръгляват до най-близките по-големи стандартни стойности.

Всеки зъб на фрезата представлява режещ клин с ъгли, като тези на стругарския нож. Координатните равнини се определят за всеки режещ зъб. Основната равнина P_r минава през оста на фрезата и точка от режещия ръб.

Предните и задните ъгли на цилиндричните фрези с прави зъби се разглеждат в равнината на главното сечение P_o , която съвпада с установъчната равнина P_f и с нормалната равнина P_n .

Цилиндричните фрези с винтови зъби (Фиг. 5.7 а) имат ъгъл на наклона на зъбите ω , съответстващ на ъгъл λ_s при стругарския нож - $\omega = 25 \div 30^\circ$, а понякога и до 60° . Предните и задните ъгли на фрезите се разглеждат в равнината на главното сечение P_o , установъчната равнина P_f ($P_f \equiv P_o$) и нормалната равнина P_n , като връзките между тях се изразяват с равенствата:

$$\gamma_o = \gamma_f; \quad \alpha_o = \alpha_f; \quad (5.30)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_n = \operatorname{tg} \gamma_f \cos \omega; \quad (5.31)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{\operatorname{tg} \alpha_f}{\cos \omega}. \quad (5.32)$$

Зъбите на челните и челно-цилиндричните фрези (Фиг. 5.7 б) имат главен и спомагателен режещ ръб, свързани с преходен режещ ръб. Координатните равнини и геометричните елементи се определят както при стругарските ножове. Препоръчителните стойности на главния и спомагателния установъчен ъгъл са в границите: $\kappa_r = 45 \div 60^\circ$ и $\kappa_r' = 5 \div 10^\circ$.

5.3.2. Видове фрези

Фрезите се класифицират на:

- ✓ цилиндрични, челни, челно-цилиндрични, дискови, конусни, профилни, червячни в зависимост от формата на повърхнините, върху които са разположени зъбите;
- ✓ дорникови и опашкови според начина на установяване към машината;
- ✓ острозаточени и затиловани (с кръгови или винтови задни повърхнини) в зависимост от формата на зъбите;

- ✓ *презаточваеми и непрезаточваеми* според експлоатационни белези;
- ✓ *фрези с общо предназначение* (за обработване на плоски, стъпални и др. повърхнини) и *специални фрези* (за обработване на профилни, винтови и др. повърхнини).

Фрезите се изработват *цели* (монолитни), *съставни* и *сглобяеми* от инструментална стомана, метало- и минералокерамика и свръхтвърди материали.

Фрезите с острозаточени зъби (цилиндрични, челни, челно-цилиндрични, ъглови, дискови и др.) са най-голямата група инструменти за фрезование. Те имат редица предимства пред затилованите фрези: зъбите са със сравнително проста форма (плоска или винтова) на задната повърхнина, което облекчава презаточването; по цялата дължина режещият ръб има рационални задни ъгли; по-голяма трайност и др. Предвид посочените предимства, при възможност фрезите следва да се изработват с острозаточени зъби.

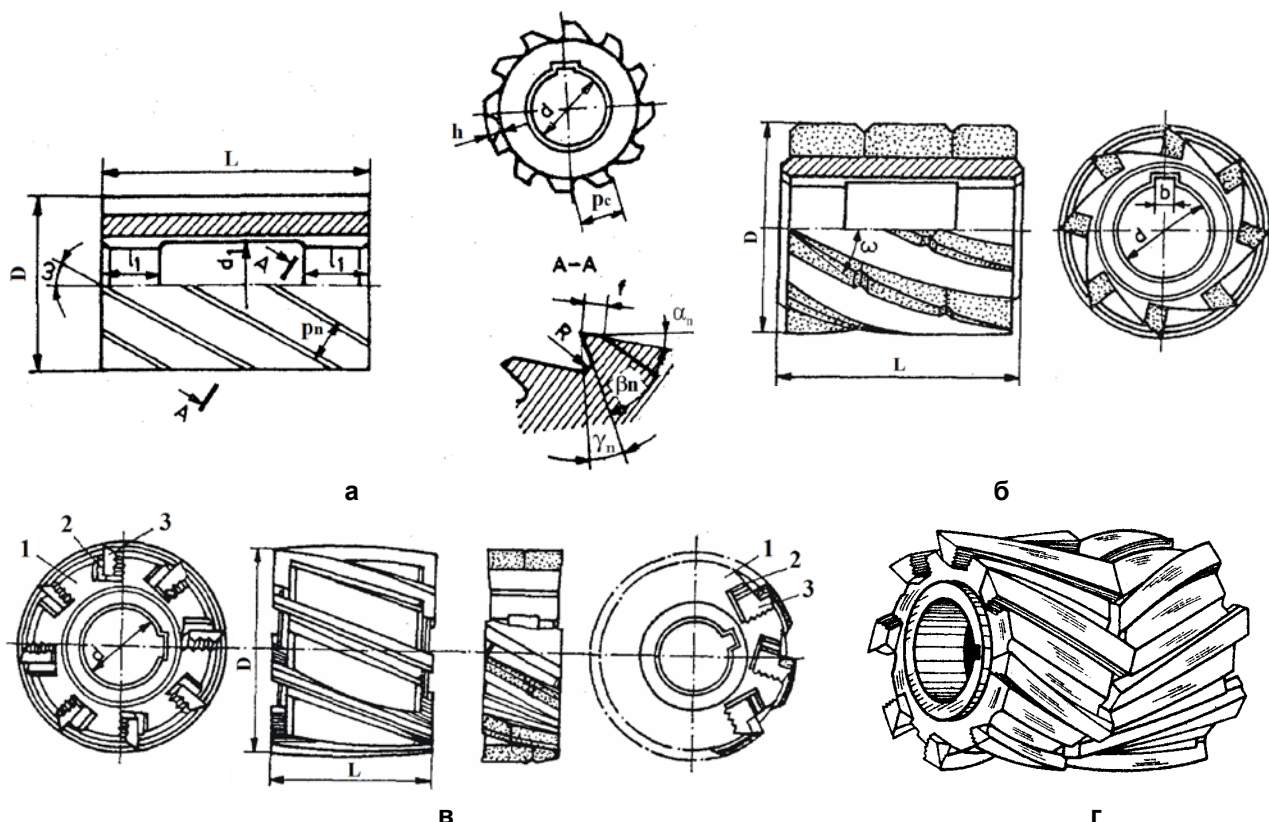
Фрези със затиловани и дъгови зъби се изработват, когато режещият ръб е със сложна форма и заточването по задната повърхнина представлява технологичен проблем. Тези фрези се отличават от острозаточените по формата на задната повърхнина на зъбите, която в радиално сечение обезпечава запазване на профила на режещия ръб и големината на задния ъгъл α_o . Те се заточват радиално по предната повърхнина, като $\gamma_f = 0^\circ$ и $\omega = \gamma_p = 0^\circ$, което улеснява профилирането. Когато изискванията към точността не са големи, може да се приемат положителни предни ъгли $\gamma_f \leq 5^\circ \div 8^\circ$, без да се коригира профилът на фрезата, ако грешките са в допустимите граници.

Цилиндричните фрези (Фиг. 5.8) се използват за обработване на равнинни повърхнини на хоризонтални фрезови машини. Тези фрези се изработват с прави или с винтови зъби. По-голямо разпространение са получили цилиндричните фрези с винтови зъби, тъй като работят по-плавно. Фрезите с прави зъби се използват за обработване на тесни повърхнини, където предимството на фрезите с винтови зъби не се проявява съществено.

При работа с цилиндрични фрези с винтови зъби възникват подавателни (осови) сили, които при наклон на зъбите $\omega = 30 \div 45^\circ$ имат значителни стойности. За уравновесяване на тези сили се използват *сдвоени цилиндрични фрези* (Фиг. 5.8 г), винтовите зъби на които имат еднакъв наклон, но различно направление.

Цилиндричните фрези се изработват цели от бързорежеща стомана (Фиг. 5.8 а), съставни (Фиг. 5.8 б) и сглобяеми (Фиг. 5.8 в). Цилиндричните фрези със сравнително малки размери имат зъби от металокерамични твърдосплавни пластини, споени непосредствено върху тялото. Твърдосплавните пластини са с призматична или винтова форма и с малка дължина. За фрези с голяма дължина се използват едновременно няколко пластини за един зъб (Фиг. 5.8 б).

Цилиндричните сглобяеми фрези се изработват със зъби (ножове) от бързорежеща стомана или със споени твърдосплавни пластини (Фиг. 5.8 в). Ножовете 3 са закрепени към тялото 1 с клиновете 2.



Фиг. 5.8. Цилиндрични фрези

а – монолитна фреза; б – съставна фреза със споени металокерамични твърдосплавни пластини; в – сглобяеми фрези с механично закрепени ножове; г – сдвоени фрези

Челните фрези се използват за обработване на равнинни повърхнини върху всички видове фрезови машини. В тези фрези профилиращи са вертикалните режещи ръбове на зъбите, а челните ръбове са само спомагателни. Челните фрези са по-масивни и по-стабилни от цилиндричните, а процесът на рязане с тях е по-плавен. Челното фрезование осигурява по-голяма производителност от цилиндричното, затова е по-разпространено.

Изработват се челни фрези изцяло от бързорежеща стомана (Фиг. 5.9 а), както и съставни (Фиг. 5.9 б) и сглобяеми (Фиг. 5.9 в, г) челни фрези.

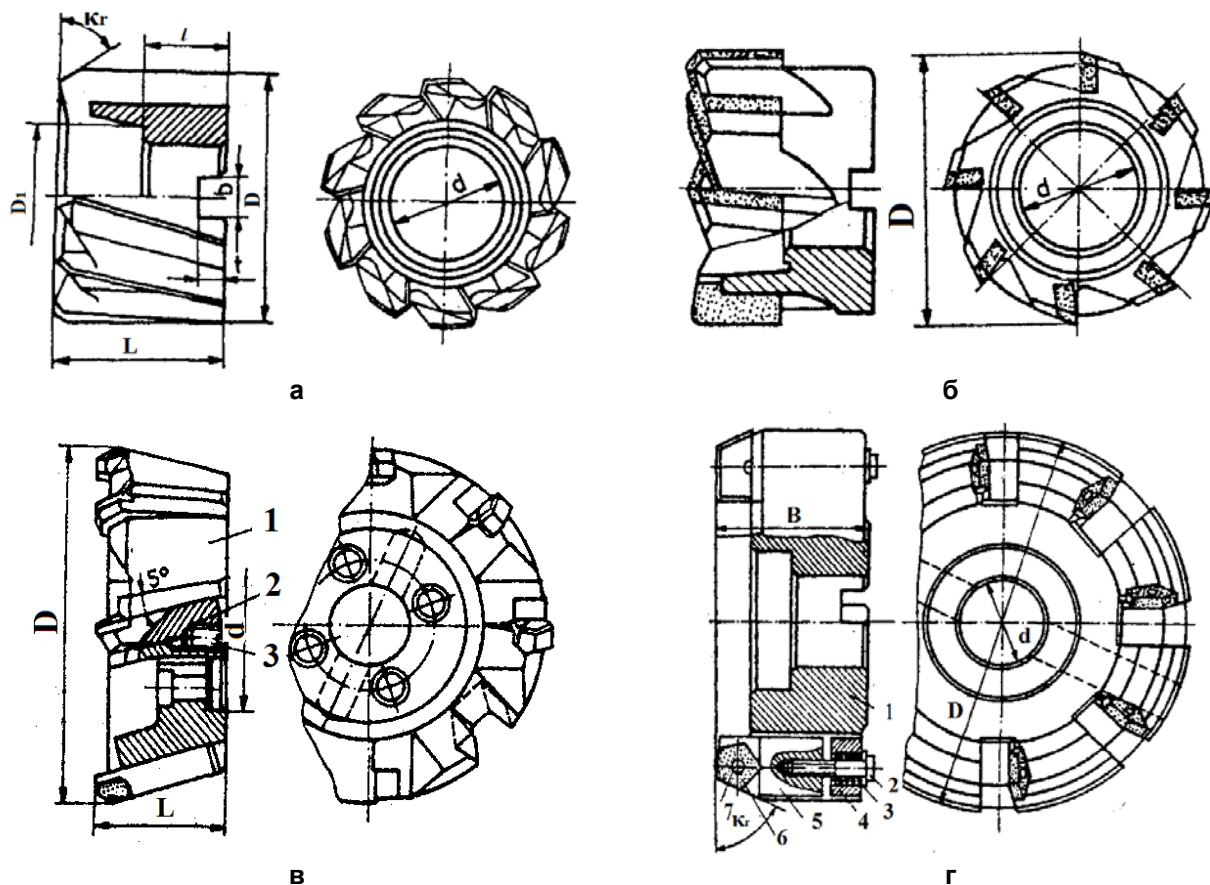
На Фиг. 5.9 б е показана челна фреза със споени металокерамични твърдосплавни пластини, а на Фиг. 5.9 в – челна фреза с механично закрепени ножове (ножовете 2 са закрепени към тялото 1 с винтовете 3).

Особено широко разпространение имат челните фрези с механично закрепени сменяеми пластини с различна форма (квадратна, петстенна или кръгла). Челна фреза с механично закрепени твърдосплавни петстенни пластини е показана на Фиг. 5.9 г. Пластините 6 са закрепени към ножовете 5 с щифтовете 7. От своя страна ножовете са закрепени към тялото 1 с винтовете 2 през пръстена 4. Пружината 3 служи за удобство при сглобяване.

Пластините могат да се разполагат стъпално, с което се подобряват условията на работа при сваляне на големи прибавки.

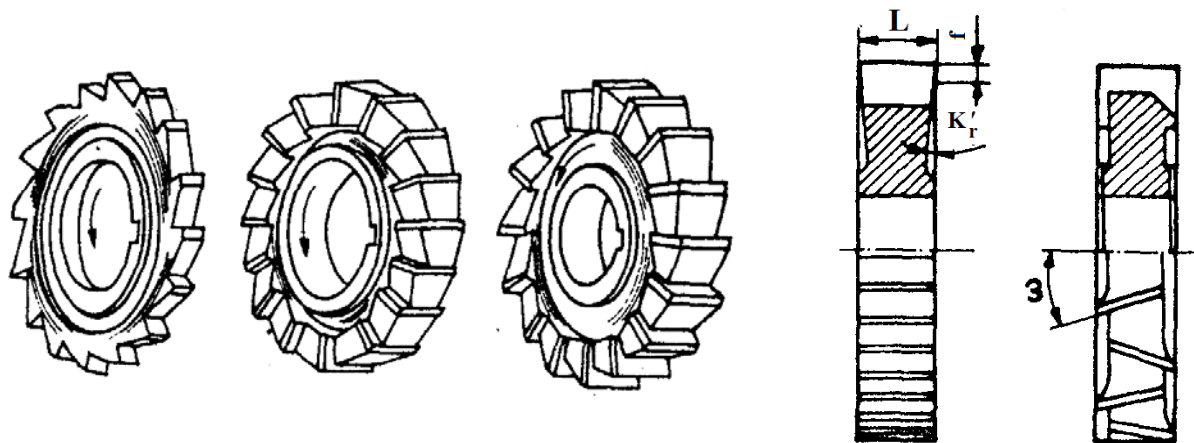
Дисковите фрези (Фиг. 5.10) се използват за фрезование на канали и стъпала. Тези фрези са канални, двустранни и тристранни с прави или наклонени зъби. Каналните дискови фрези имат зъби само по цилиндричната си

повърхнина и са предназначени за обработване на канали с малка дълбочина. Дисковите двустранни фрези имат зъби освен по цилиндричната повърхнина и по едното чело, а тристранните фрези – и по двете чела. За да се намали триенето, страничните повърхнини се изработват с наклон под ъгъл $\kappa_r' = 1^\circ 30' \div 2^\circ$, като върху двете чела се оставя лентичка с широчина $f = 1 \div 1,5 \text{ mm}$ (Фиг. 5.11).



Фиг. 5.9. Челни фрези

а – монолитна фреза; б – съставна фреза със споени металокерамични твърдосплавни пластини; в – сглобяема фреза с механично закрепени ножове; г – сглобяема фреза с механично закрепени твърдосплавни пластини



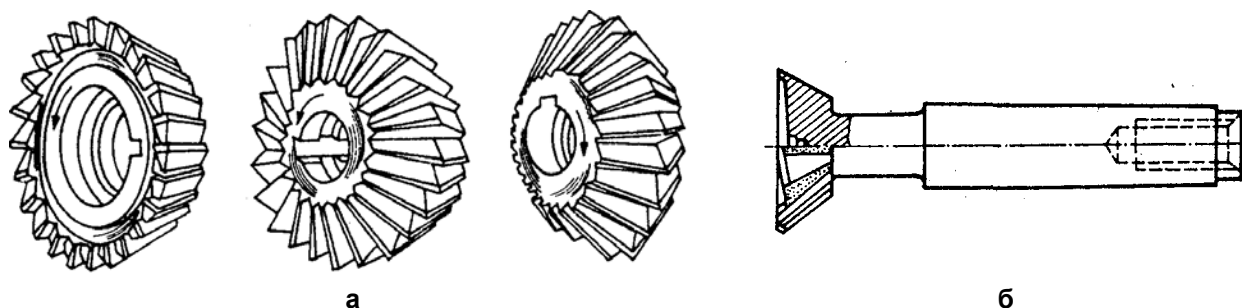
Фиг. 5.10 Дискови фрези

Фиг. 5.11. Разположение на зъбите на дискови фрези

Главните режещи ръбове на двустранните и тристранните дискови фрези се разполагат по цилиндричната повърхнина. Страничните режещи ръбове, разположени по челата, са спомагателни. При фрезите с прави зъби предните ъгли на страничните режещи ръбове са равни на нула. За да се получат положителни предни ъгли на страничните режещи ръбове, двустранните фрези се изработват с наклонени зъби. Със същата цел тристранните фрези се изработват с разнопосочно наклонени зъби (Фиг. 5.11). През един зъбите по челата, имащи отрицателни предни ъгли, са срязани.

Ъгловите фрези (Фиг. 5.12) се използват за обработване на ъгови канали и наклонени равнини. Едноъгловите фрези имат режещи ръбове, разположени върху челото и конусната повърхнина, а двуъгловите - режещи ръбове, разположени върху две съседни конусни повърхнини (Фиг. 5.12 а).

Ъгловите фрези с малки размери се изработват с цилиндрична или с конусна опашка (Фиг. 5.12 б).



Фиг. 5.12. Ъгови фрези

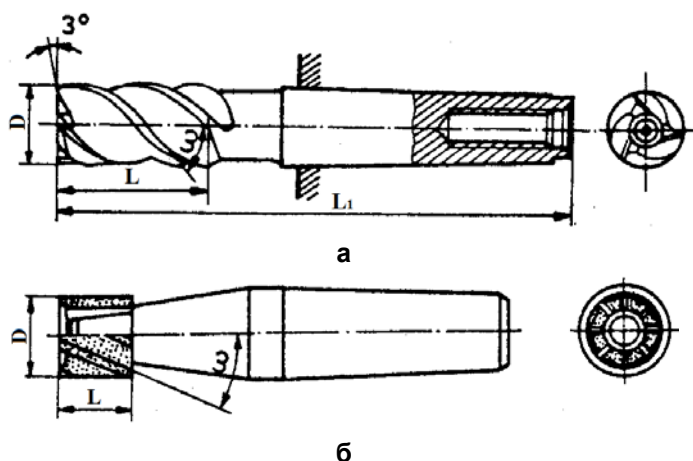
а – едноъглова и двуъглова фрези; б – ъглова опашкова фреза

Цилиндричните опашкови фрези (Фиг. 5.13) се използват за обработване на дълбоки канали и стъпала в корпусни детайли и за контурно фрезование. Опашките им са цилиндрични или конусни. Рязането се извършва предимно от главните режещи ръбове, разположени върху цилиндричната повърхнина. Спомагателните режещи ръбове са разположени върху челото и само зачистват дъното на обработвания канал.

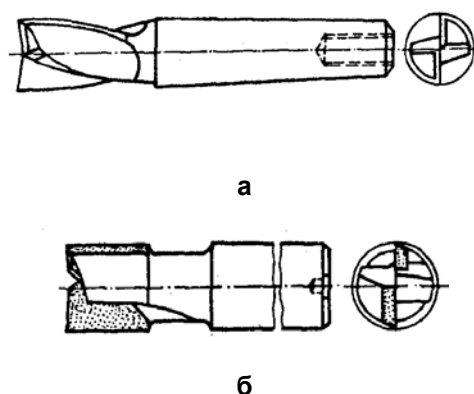
Цилиндричните опашкови фрези се изработват от бързорежеща стомана (Фиг. 5.13 а) или от металокерамични твърди сплави. На Фиг. 5.13 б е показана фреза със споени твърдосплавни пластини.

Разновидност на цилиндричните опашкови фрези са **шпонковите двузъби фрези** (Фиг. 5.14). Тези фрези, подобно на свредло, могат да режат с осово подаване. След пробиването на отвор на дълбочината на канала, осовото подаване се прекратява и започва работа с подаване, надлъжно на канала. При работа с осово подаване основната работа се извършва от челните режещи ръбове. Затова единият от тях трябва да достига до оста на фрезата, за да се осигури пробиването на отвор.

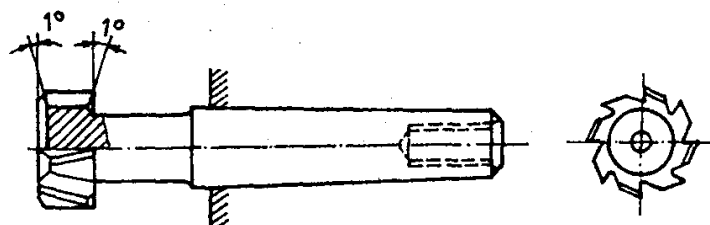
За обработване на Т-образни канали, често срещащи се в металообработващите машини, се използват **Т-образни фрези** (Фиг. 5.15). Тези фрези имат зъби по двете чела и цилиндричната повърхнина.



Фиг. 5.13. Опашкови цилиндрични фрези
 а – монолитна фреза; б – съставна фреза със споени
 металокерамични твърдосплавни пластини



Фиг. 5.14. Шпонкови фрези
 а – монолитна фреза; б – съставна
 фреза със споени металокерамични
 твърдосплавни пластини

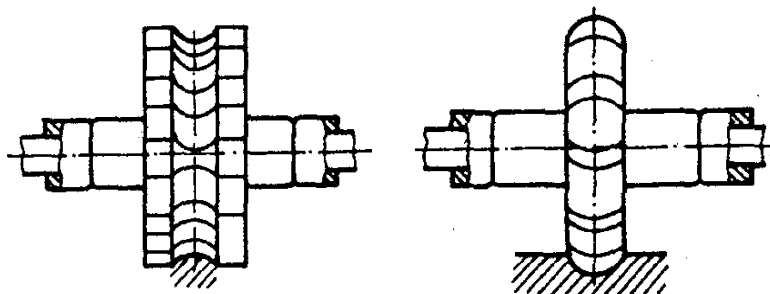


Фиг. 5.15. Фрези за Т-образни канали

Профилните фрези (Фиг. 5.16) се използват за обработване на различни профилни повърхнини. В зависимост от формата на зъбите те са два вида – острозаточени и със затиловани зъби.

Профилните фрези със затиловани зъби имат равнинна предна повърхнина. Формата на задната повърхнина осигурява постоянство на формата на профила на фрезата при презаточване по предната повърхнина с ъгъл $\gamma = 0^\circ$.

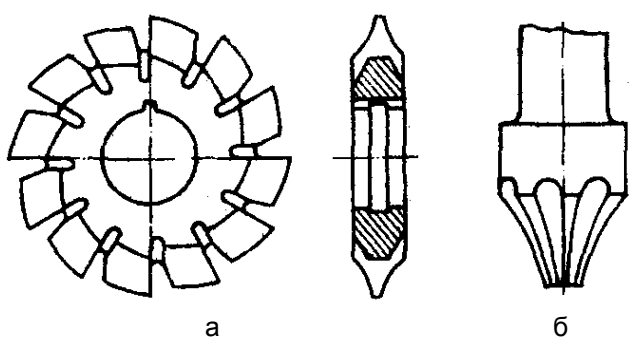
Профилните фрези с острозаточени зъби се заточват по задната повърхнина. Те осигуряват по-малка височина на грапавините и имат по-голяма трайност от затилованите. Изработването и заточването им обаче са по-сложни и по-трудоемки.



Фиг. 5.16. Профилни фрези

Дисковите и палцовите модулни фрези, предназначени за изработване на зъбни колела чрез копиране, също са профилни фрези (Фиг. 5.17).

Дисковите модулни фрези (Фиг. 5.17 а) са дискови затиловани фрези,



Фиг. 5.17. Модулни фрези

а – дискова модулна фреза; *б* – палцова модулна фреза

профилът на режещите ръбове на зъбите на които е еднакъв с профила на междузъбието на зъбно колело с прави зъби. Нарязването на зъбните колела става върху универсални фрезови машини с делително приспособление (делителен апарат).

Зъбни колела с един и същ модул, но с различен брой зъби, имат различни по форма между-

зъбия. Поради това за всеки модул и брой зъби трябва да се използва отделна фреза. Това е икономически нецелесъобразно. На практика се използват комплекти от 8 (за зъбни колела с модул до 8 *mm*), 15 и 26 фрези (за зъбни колела с модул до 16 *mm*) за определени диапазони от зъби на зъбни колела. Профилът на зъба на всяка фреза от комплекта съответства на профила на междузъбието на зъбното колело с най-малък брой зъби от диапазона с цел предотвратяване на заклиняването на зъбните колела с друг брой зъби от диапазона. Това води до появата на грешка в профила на нарязваните зъби, но тя е в границите на допускателна за $9 \div 8$ степен на точност на зъбните предавки.

Палцовите модулни фрези (Фиг. 5.17 *б*) се използват основно в тежкото машиностроене за обработване на зъбни колела с големи модули (по-големи от 16 *mm*). Те са нископроизводителни и обезпечават сравнително малка точност на обработените зъбни колела. Работната им част се състои от 4 до 8 режещи зъба с профил, съответстващ на половината от междузъбието, разположени симетрично спрямо оста на въртене. Използват се фрези за грубо (предварително) и чисто (окончателно) обработване на междузъбието. Фрезите за грубо обработване се изработват със стружкоразделителни канали върху режещите зъби и с положителен преден ъгъл $\gamma_f = 5^\circ \div 10^\circ$. Профилът на зъбите е съобразен с прибавката за чисто обработване. Фрезите за чисто обработване се изработват с профил на режещите зъби, еднакъв с профила на междузъбието на зъбно колело с прави зъби, и с преден ъгъл $\gamma_f = 0^\circ$.

Червячните модулни фрези (Фиг. 5.18) са предназначени за обработване на зъбни колела с прави и винтови зъби по метода на центроидното обхождане. Те представляват червячен винт с надлъжни стружкови канали, образувачи режещите елементи на зъбите. Установяват се върху цилиндричен дорник. В осово сечение на фрезата профилът е трапецовиден във вид на зъбен гребен. Зъбите на режещите гребени по задните повърхнини се затилват за получаване на необходимите задни ъгли.

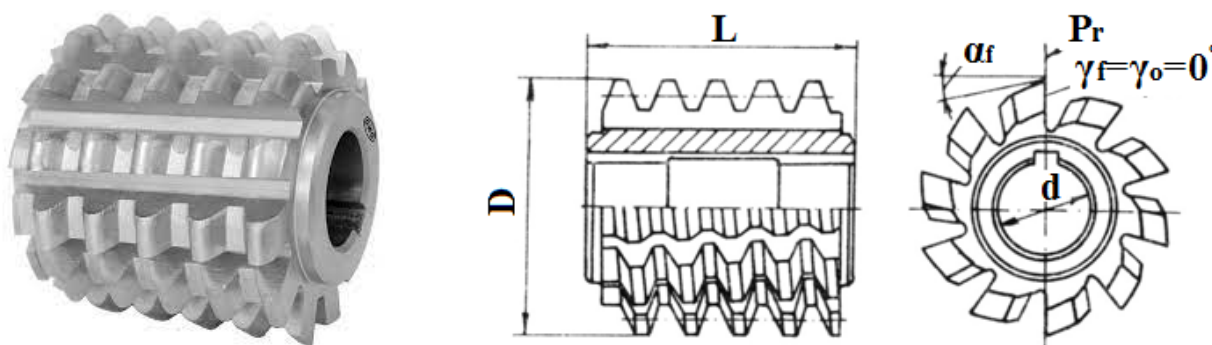
Червячните фрези се класифицират по:

- тип на изходния червяк - конволютни, еволвентни и архимедови;
- брой на ходовете – едноходови (използват се за предварително и окончателно обработване) и многоходови (използват се предимно за предварително обработване);

- точност – клас *AA* (за обработване на зъбни колела със 7 степен на точност); клас *A* (за обработване на зъбни колела с 8 степен на точност); клас *B* (за обработване на зъбни колела с 9 степен на точност); клас *C* (за обработване на зъбни колела с 10 степен на точност);

- конструкция - тип I – прецизни монолитни фрези с клас на точност *AA*; тип II – монолитни фрези с общо предназначение с класове на точност *A*, *B* и *C*; тип III – сглобяеми фрези с общо предназначение с класове на точност *A*, *B* и *C*.

Червячните модулни фрези се изработват предимно монолитни от бързорежеща стомана. По-рядко се използват сглобяеми фрези с пластини от твърди сплави.



Фиг. 5.18. Червячни фрези

Основните предимства на червячните фрези са:

- осигуряване на висока производителност при обработване на зъбни колела, т.к. процесът на зъбонарязване е непрекъснат;
- възможност за обработване на коригирани и некоригирани зъбни колела с всякакъв брой на зъбите с фреза от даден модул и ъгъл на профила на изходния контур;
- осигуряване на висока точност по отношение на стъпката на обработените зъбни колела;
- работят върху машини с проста кинематика и настройка.

Недостатъците на червячните фрези са свързани с осигуряване на по-малка точност на профила на зъбите на обработените зъбни колела в сравнение с тази при обработване със зъбодълбачни гребени и зъбодълбачни колела, както и с невъзможност да се обработват малките зъбни венци на блок зъбни колела.

5.4. ФРЕЗОВИ МАШИНИ – ВИДОВЕ И ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ

Фрезите машини намират приложение главно при обработване на призматично-корпусни детайли. Те могат да изпълняват голям брой операции - фрезование на равнинни и профилни повърхнини, прорязване на прави и винтови канали, обработване на отвори, фрезование на зъбите на зъбни колела и др.

Основните характерни особености на фрезите машини са:

- разделени преводи (главен и подавателни) със собствено задвижване;
- наличие на механизми за ускорено преместване на масата (по всички координати);
- изграждане на модулен принцип и др.

Фрезовите машини се класифицират на:

- ✓ универсални и специализирани според степента на специализация (към специализираните фрезови машини се отнасят каруселни, копирни, шпонкофрезови, зъбофрезови, резбофрезови, шлицофрезови и гравирни машини);
- ✓ хоризонтални, вертикални и надлъжни в зависимост от разположението на оста на вретеното.

С развитието на системите за ЦПУ, както и на инструменталните материали и елементната база при металоорежещите машини голямо развитие са получили и *фрезовите машини с ЦПУ*.

5.4.1. Конвенционални фрезови машини

А. Хоризонтални фрезови машини

Хоризонталните фрезови машини се характеризират с хоризонтално разположение на оста на вретеното, на което се установява режещият инструмент (фрезата). Обработваният детайл се поставя върху масата на машината, която може да се премества във вертикално, напречно и надлъжно направление. Главното движение се извършва от инструмента (вретеното), а подавателните и установъчните движения – от обработвания детайл (масата).

Основен параметър на фрезовите машини е големината (дължината и широчината) на работната маса, която определя габаритните размери на обработвания детайл. При някои фрезови машини масата може да се завърта около вертикална ос на $\pm 45^\circ$.

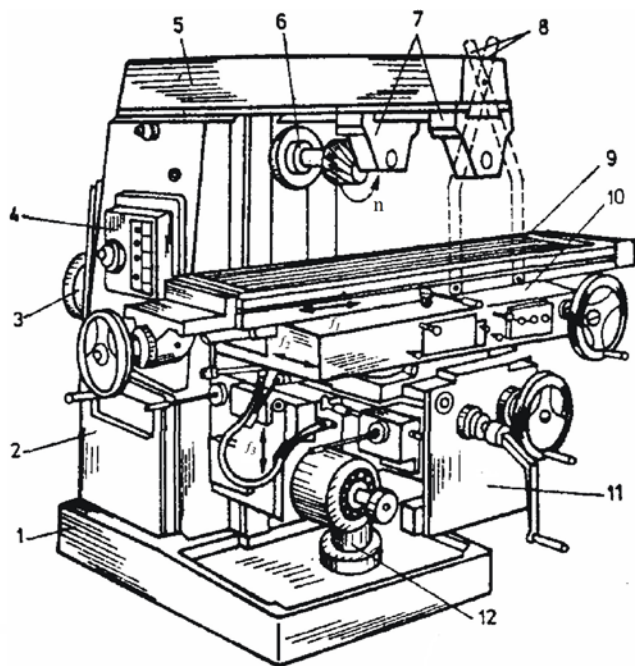
Външният вид на хоризонтална фрезова машина е показан на Фиг. 5.19. Тъй като надлъжната шейна (масата) 9 на машината е разположена върху конзолата 11, тази машина се нарича още и конзолна. Инструментът се установява чрез хоризонтален дорник във вретеното 6. В другия край дорникът е лагеруван в допълнителните опори 7. Детайлът се поставя върху масата и извършва подавателни движения в надлъжно (чрез надлъжната шейна 9), в напречно (чрез напречната шейна 10) и във вертикално (чрез вертикално преместване на цялата конзола 11 посредством вертикалния винт 12) направление.

Технологичните възможности на фрезовите машини могат да се разширяват с допълнително вертикално вретено, което се монтира към хоризонталното вретено чрез вертикална фрезова глава.

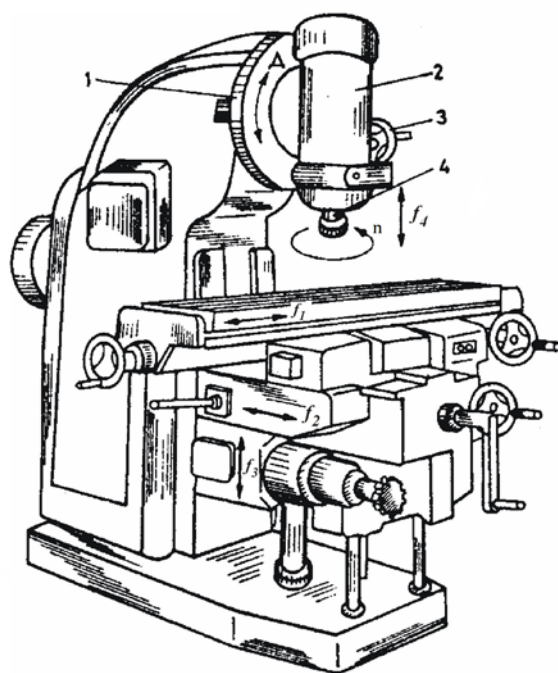
Б. Вертикални фрезови машини

Вертикалните фрезови машини се различават от хоризонталните по вертикалното разположение на вретеното. Вретеното 4 е монтирано във вретенната глава 2 (Фиг. 5.20), която може да се завърта около хоризонтална ос.

Вертикалните фрезови машини могат да бъдат конзолни и безконзолни. Безконзолните машини се използват за обработването на детайли с големи габаритни размери. Широчината на масата при тези машини е 630 mm, 800 mm и 1000 mm.



Фиг. 5.19. Горизонтална фрезова машина
1 – основа; 2 – тяло; 3 – електродвигател; 4 – ръчки за управление на главния превод; 5 – плъзгач (хобот); 6 – вретено; 7, 8 – опори; 9 – надлъжна шейна; 10 – напречна шейна; 11 – конзола; 12 – винт

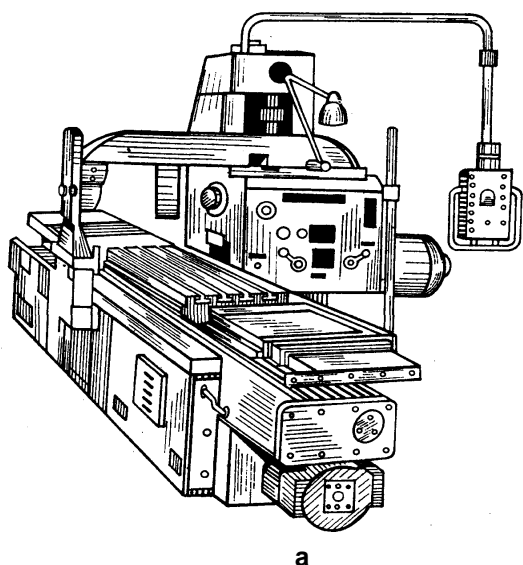


Фиг. 5.20. Вертикална фрезова машина
1 – кръгова скала; 2 – вретенна глава; 3 – ръчно колело; 4 – вретено

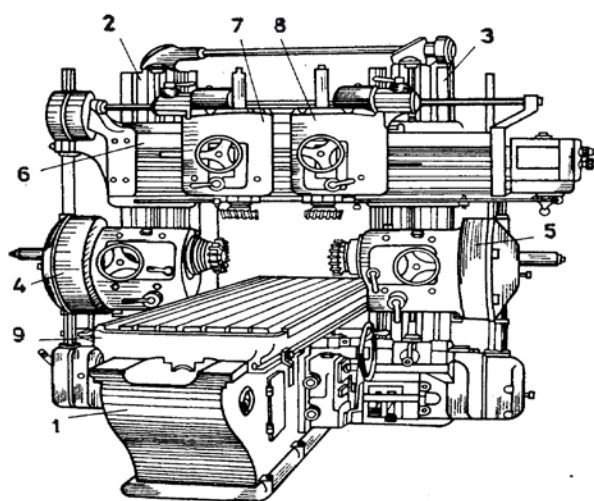
В. Надлъжни фрезови машини

Надлъжните фрезови машини (Фиг. 5.21) са предназначени за обработване на равнинни и профилни повърхнини предимно на голямогабаритни детайли. Те могат да бъдат едно- или двустойкови, едно- или многовретенни.

Широчината на масата на надлъжните фрезови машини е в границите от 320 mm до 5000 mm, а дължината – от 1000 mm до 12500 mm и повече.



а



б

Фиг. 5.21. Надлъжни фрезови машини

а – едностойкова; б – двустойкова (1 – основа; 2, 3 – вертикални стойки; 4, 5 – вертикални вретенни глави с хоризонтални оси на вретената; 6 – хоризонтална греда; 7, 8 – хоризонтални супорти с вертикални оси на вретената; 9 – маса)

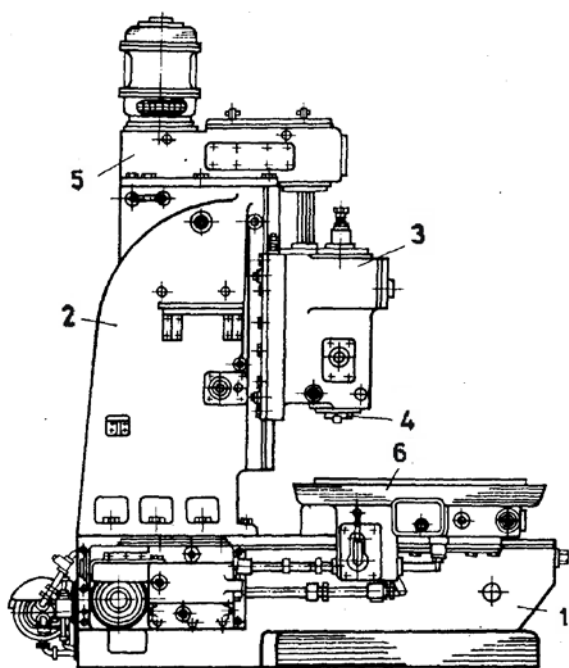
Главното движение се извършва от инструмента (или от инструментите), надлъжното подавателно движение – от масата, а напречните подавателни движения – от вretienните глави. Освен работни движения, тези машини имат и следните установъчни движения: бързо надлъжно преместване на масата; бързо преместване на вretienните глави. Всички преводи са с независимо задвижване.

Външният вид на двустойкова хоризонтална фрезова машина е показан на Фиг. 5.21 б. На основата 1 са монтирани две вертикални стойки 2 и 3, които са свързани с хоризонталната греда 6. Върху тази греда са разположени два хоризонтални супорта 7 и 8 (с вертикални оси на вretienната). На стойките 2 и 3 се намират две вертикални вretienни глави 4 и 5 (с хоризонтални оси на вretienната). Обработваният детайл се установява върху масата 9. Хоризонталната греда 6 може да се премества във вертикална равнина по стойките 2 и 3.

Г. Каруселни фрезови машини

Каруселните фрезови машини са предназначени за обработване на равнинни повърхнини на лети, ковани или щамповани заготовки по метода на непрекъснатото челно фрезование. Те се състоят от следните основни възли - тяло, кръгла маса, стойка и вretienна глава.

Обикновено вretienната са две, едното от които е за грубо обработване, а другото - за чисто обработване. Освен това двете вretienна могат да се въртят с различни скорости. Върху тялото са изработени направляващи, по които може да се премества кръглата маса.



Фиг. 5.22. Каруселна фрезова машина

1 – основа; 2 – стойка; 3 – вretienна глава;
4 – вretienна; 5 – скоростна кутия; 6 – кръгла маса

Външният вид на каруселна фрезова машина е показан на Фиг. 5.22. На основата 1 е монтирана стойката 2, във вертикалните направляващи на която е установена вretienната глава 3 с две вretienна 4. Скоростната кутия 5 е разположена в горната част на машината. Обработваните детайли се установяват върху кръглата маса 6. На машината е възможно да се извършва непрекъснато фрезование, като след извеждане от работната зона обработените детайли веднага могат да бъдат заменени с нови заготовки.

5.4.2. Фрезови машини с ЦПУ

Тенденциите, свързани с усъвършенстване на конструкциите и кинематиката на фрезовите машини и обусловени от развитието и приложението на системите за ЦПУ, са:

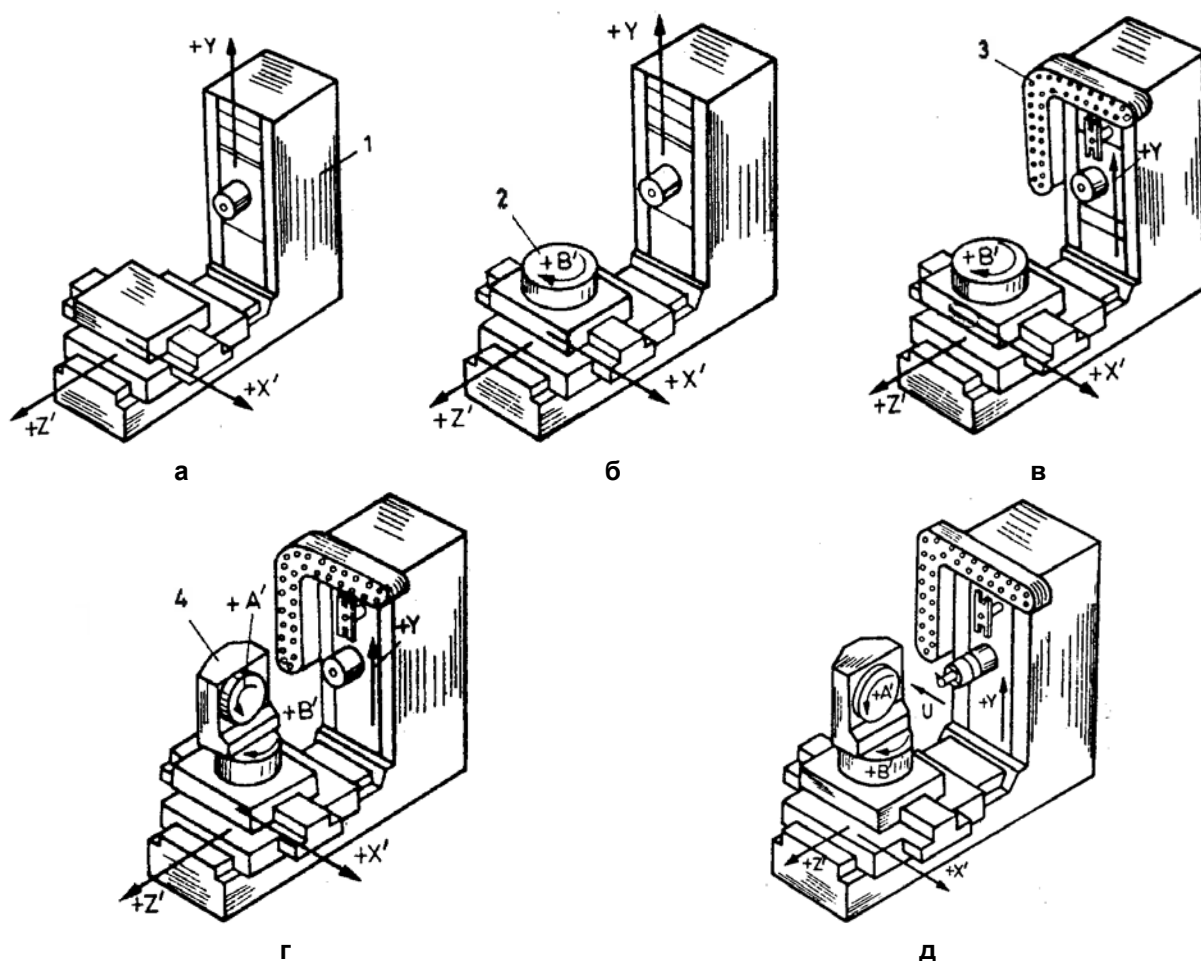
- въвеждане на модулния принцип на конструиране;
- съвместяване на повече обработки при едно установяване.

В резултат на първата тенденция се изграждат глави металорежещи машини, а в резултат на втората се появяват многооперационни машини за обработване на призматично-корпусни детайли или така наречените *обработващи центри*.

Обработващите центри са предназначени за комплексно обработване на детайли с автоматична смяна на инструментите. Използват се главно за обработване на призматично-корпусни детайли, които имат голям брой гладки, стъпални и резбови отвори с различен диаметър. Върху тези машини могат да се обработват равнинни и профилни повърхнини и контури, както и да се извършват свредловане, разсвредловане, зенкерование, разстъргване, нарязване на резби, фрезование, шлифование и други обработки.

Характерна особеност на обработващите центри е максималният брой на обработките, концентрирани на една позиция. Затова основното изискване към тези машини е наличието на инструментален магазин с достатъчно голям капацитет и на устройство за автоматична смяна на инструментите.

На Фиг. 5.23 са показани най-често срещаните варианти на обработващи центри от среден типоразмер [36, 43, 59, 86].

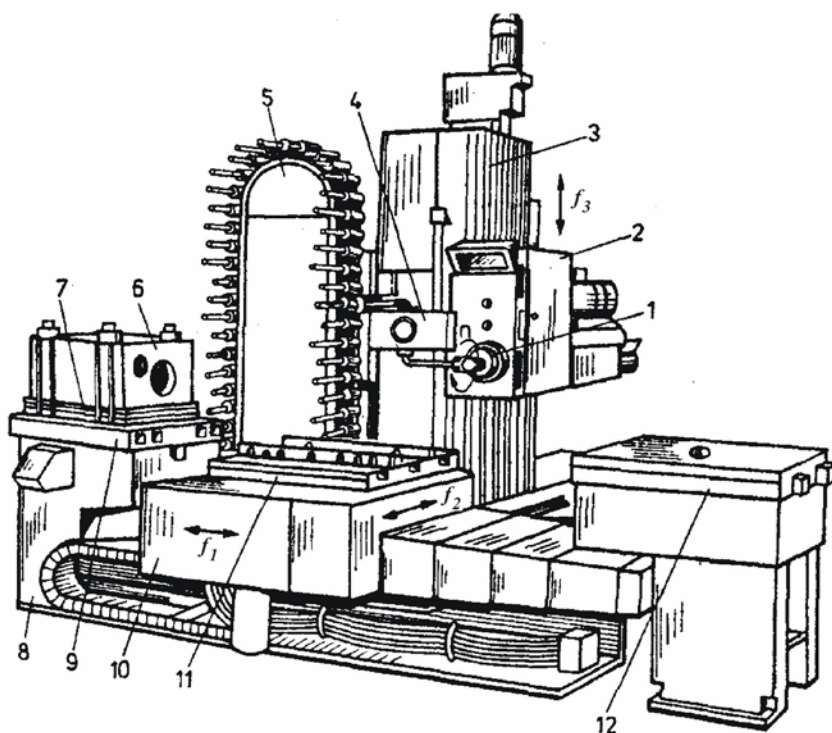


Фиг. 5.23. Конструктивни варианти на обработващи центри

а – трикоординатна конструкция; б, в – четирикоординатни конструкции; г – петкоординатна конструкция; д – шесткоординатна конструкция

(1 – колона; 2 – маса; 3 – инструментален магазин; 4 – две въртящи маси)

Трикоординатната конструкция с двукоординатна маса и неподвижна колона 1 позволява едностранно обработване на призматично-корпусни детайли (Фиг. 5.23 а). Структурата от Фиг. 5.23 б е четирикоординатна (масата 2 може да се завърта около вертикална ос), т.е. детайлите могат да се



Фиг. 5.24. Обработващ център

1 – вретено; 2 – вретенна глава; 3 – стойка; 4 – автооператор;
5 – инструментален магазин; 6 – обработван детайл; 7 – спътник;
8 – тяло; 9, 10, 11, 12 – маси

обработват четиристранно. Конструкцията от Фиг. 5.23 в е разширена с инструментален магазин 3 с голям капацитет. На Фиг. 5.23 г е показана петкоординатна конструкция с две въртящи се маси 4, която позволява петстранно обработване. Конструкцията на Фиг. 5.23 д е шесткоординатна и е предназначена за обработване на вътрешни профилни повърхнини, разположени под произволен ъгъл.

Външният вид на типичен представител на обработващите центри е представен на Фиг. 5.24.

5.5. УСТАНОВЯВАНЕ НА ОБРАБОТВАНИ ДЕТАЙЛИ И НА РЕЖЕЩИ ИНСТРУМЕНТИ КЪМ ФРЕЗОВИ МАШИНИ

5.5.1. Установяване на обработвани детайли

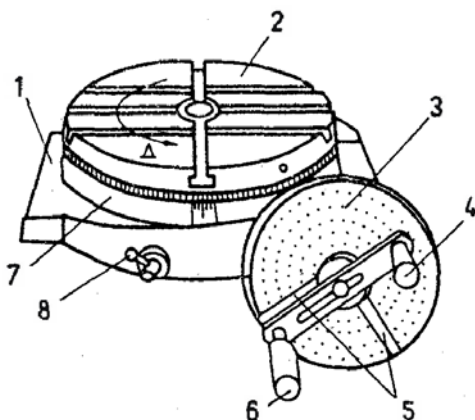
Върху фрезови машини обработваните детайли се установяват:

- непосредствено върху масата на машината, като се използват подходящи по форма притискащи планки, регулируеми подложки и болтове, чиито глави се поместват в Т-образните канали на масата;

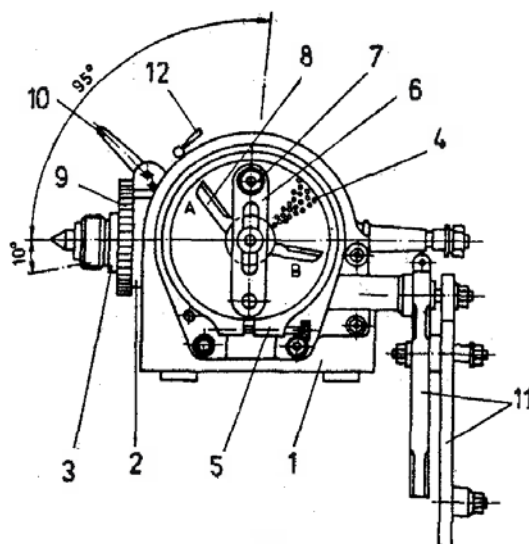
- в призми, които се центроват върху масата чрез издатъци, влизащи в Т-образните ѝ канали – прилага се при установяване на цилиндрични детайли, като в зависимост от дължината на обработвания детайл се използват една или две призми и едно или две затягащи устройства;

- в универсални приспособления - машинни стиски (обикновени, въртящи се около вертикална ос и универсални – въртящи се около хоризонтална и вертикална ос), магнитни маси, кръгли делителни маси (Фиг. 5.25) и универсални делителни апарати (Фиг. 5.26);

- в специални приспособления – конструират се обикновено за установяване само на един вид обработвани детайли и се използват в условията на едросерийно и масово производство.



Фиг. 5.25. Кръгла делителна маса
1 – тяло; 2 – планшайба; 3 – делителен диск;
4 – ръчка; 5 – ножица; 6 – фиксатор;
7 – скала; 8 – стопорна ръчка



Фиг. 5.26. Универсален делителен апарат
1 – основа; 2 – тяло; 3 – вретено; 4 – делителен
диск; 5 – застопоряващ пръстен; 6 – делителна
ръкохватка; 7 – фиксатор; 8 – ножица;
9 – спомагателен делителен диск;
10 – спомагателен фиксатор; 11 – лира; 12 – лост
за включване на червячната предавка

Делителните маси се използват при обработване на профилни повърхнини върху вертикални фрезови машини. На Фиг. 5.25 е показан общият вид на кръгла делителна маса. Тялото 1 се закрепва върху масата на машината. Обработваният детайл се установява върху планшайбата 2, която може да се върти около оста си. Ъгълът на завъртане се отчита чрез скалата 7 (при установъчно делене) или чрез делителния диск 3 (при точно позициониране).

Делителният апарат значително разширява технологичните възможности на фрезовите машини. Използва се за:

- установяване на оста на обработвания детайл под определен ъгъл спрямо масата на машината;

- периодично завъртане на обработвания детайл около оста му на определен ъгъл (делене на равни или неравни части);

- предаване на въртливо движение на обработвания детайл при нарязване на винтов канал или винтови зъби на зъбни колела по метода на копирането.

На Фиг. 5.26 е показан външният вид на универсален делителен апарат (УДА 150). Основата 1 се закрепва неподвижно върху масата на фрезовата машина. Тялото 2 на делителния апарат може да се завърта около хоризонтална ос на ъгъл от (-10°) до $(+95^\circ)$.

Делителният апарат има два диска 4 и 9, с помощта на които могат да се извършват *просто, обикновено и диференциално* делене.

При просто делене окръжността може да се раздели на 2, 3, 4, 6, 8, 12 и 24 равни части. В този случай се използва спомагателният делителен диск 9, по периферията на който има 24 трапецовидни канала. Фиксирането на диск 9 се извършва с фиксатора 10. Вретеното 3, респективно обработвания детайл, се завърта на определен ъгъл ръчно при освободен фиксатор 10.

При обикновено делене окръжността може да се раздели на части, броят z

на които е кратен на броя на отворите, разположени по 22 окръжности на делителния диск 4, или на характеристиката на делителния апарат K (предавателното отношение на червячната предавка). Решаването на задачата се свежда до определяне на броя на завъртанията (n_p) на ръкохватката 6, които трябва да се направят, за да се завърти обработваният детайл на едно деление ($n_z = 1/z$):

$$n_p = \frac{K}{z}. \quad (5.33)$$

В случай че броят на деленията z не е кратен нито на характеристиката K на делителния апарат, нито на броя на отворите от 22 окръжности на делителния диск, броят на завъртанията на ръкохватката n_p се определят чрез използване на диференциално делене. В този случай се постъпва по следния начин:

- избира се число $z_f < z$, с което може да се извърши обикновено делене;
- разликата между z_f и z се компенсира с допълнително завъртане на делителния диск посредством сменна лира, която се поставя между вретеното и вала на делителния апарат;
- броят на завъртанията на ръкохватката 6 се определят от зависимостта:

$$n_{pf} = \frac{K}{z_f}. \quad (5.34)$$

Ако $z_f > z$, детайлът ще се завърти на ъгъл $1/z_f < 1/z$. За да се компенсира разликата, за всяко делене детайлът трябва допълнително да се завърти в същата посока. Ако $z_f < z$, ръкохватката и делителният диск се въртят в различни посоки. Големината на допълнителното завъртане се определя от предавателното отношение на сменната лира в съответствие със зависимостта:

$$w = \frac{K}{z_f}(z_f - z). \quad (5.35)$$

Ако $z_f < z$, стойността на w ще бъде с отрицателен знак, т.е. делителният диск и ръкохватката ще се въртят в противоположни посоки. И обратно, ако $z_f > z$, стойността на w е положителна и делителният диск и ръкохватката ще се въртят в една и съща посока.

Делителният апарат може да се използва и за:

- линейно преместване с големина P , като вретеното на делителния апарат и водещият винт на масата на фрезовата машина се свързват посредством сменна лира, предавателното отношение на която се определя от зависимостта:

$$w = \frac{K}{P_m} \cdot \frac{P}{n_p}, \quad (5.36)$$

където P_m е стъпка на водещия винт на масата на фрезовата машина;

- фрезоване на винтов канал - за да се предаде въртливо движение на обработвания детайл, съгласувано с праволинейното движение на масата на машината, между водещия винт на масата на фрезовата машина и делителния апарат се свързва сменна лира с предавателно отношение:

$$w = \frac{K P_m}{H}, \quad (5.37)$$

където H е стъпка на нарязвания винтов канал.

5.5.2. Установяване на режещи инструменти

Установяването на фрезите към вретеното на фрезовите машини се извършва по различни начини.

Дорниковите фрези имат цилиндричен отвор, с помощта на който се установяват върху дорник. Конусната опашка 2 на дорника (Фиг. 5.27 а) влиза в конусния отвор на вретеното. Изрезите 3 във фланеца 4 служат за зацепване с водачите на вретеното на машината. Плътното прилягане на дорника в конусното гнездо на вретеното се осигурява със затягащ винт, преминаващ през централния отвор на вретеното и навиващ се в резбовия отвор 1 на дорника. Фрезите се установяват върху цилиндричната част 5 на дорника.

Фрезовите машини се окомплектоват с няколко дорника с различен диаметър. Фрезите се установяват върху дорника на определеното място при използване на дистанционни пръстени и се притискат чрез гайка, навита върху резбата на дорника.

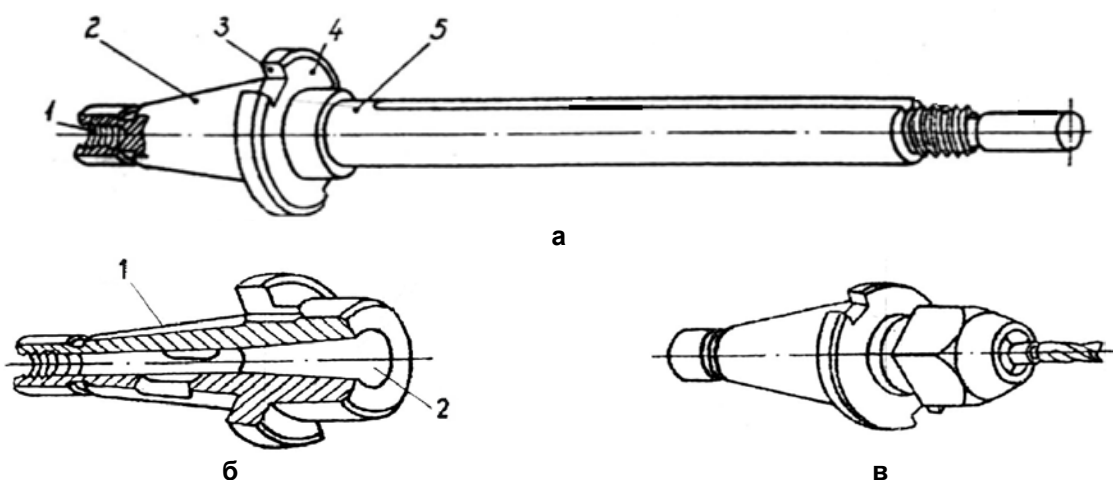
Опашковите фрези се установяват в конусното гнездо на вретеното или с помощта на патронник.

Фрезите с конусни опашки, размерът на които съвпада с размерите на конусното гнездо на вретеното, се установяват непосредствено към вретеното.

Ако конусната опашка на фрезата е с по-малки размери от тези на конусното гнездо се използва преходна конусна втулка (Фиг. 5.27 б). Външният конус 1 съответства на гнездото на вретеното, а вътрешният 2 - на опашката на фрезата.

Фрези с цилиндрични опашки се установяват в челюстни или цангови (Фиг. 5.27 в) патронници.

Челно-цилиндричните фрезови глави с голям външен диаметър се установяват непосредствено към челото на вретеното с помощта на четири винта.



Фиг. 5.27. Приспособления за установяване на режещи инструменти към фрезови машини

а - фрезови дорник; б – преходна втулка; в – цангов патронник

При работа върху фрезови машини с ЦПУ и обработващи центри трябва да се обърне особено внимание на установяването на режещите инструменти, тъй като от него зависят трайността на инструментите, стабилността на технологичния процес и качеството на обработените повърхнини. В тези случаи като спомагателни инструменти се използват дорници и патронници.

Дорниците са предназначени основно за обработване с големи сили на рязане, като челно фрезоване, фрезоване на прорези с дискови фрези, пробиване на отвори с голям диаметър. Елементът, който предава въртящ момент на дорниците, е шпонка, която предотвратява завъртането на режещия инструмент спрямо дорника. По този начин се гарантира надеждно закрепване и предаване на въртящия момент. Дорниците обаче не са в състояние да осигурят добро центроване на инструмента и затова се използват основно при грубо обработване със сваляне на по-голямата част от материала.

Патронниците осигуряват по-добро центроване и обикновено се използват за установяване на малки режещи инструменти. Прилагат се патронници с механично закрепване на режещия инструмент (за свредла, режещи инструменти с конусни опашки тип морзов конус, Whistle Notch, Weldon и др.) и патронници с еластично деформируема затягаща част (цангови, хидромеханични, хидропластични и др.).



Фиг. 5.28. Цангови патронници и сменяеми цанги

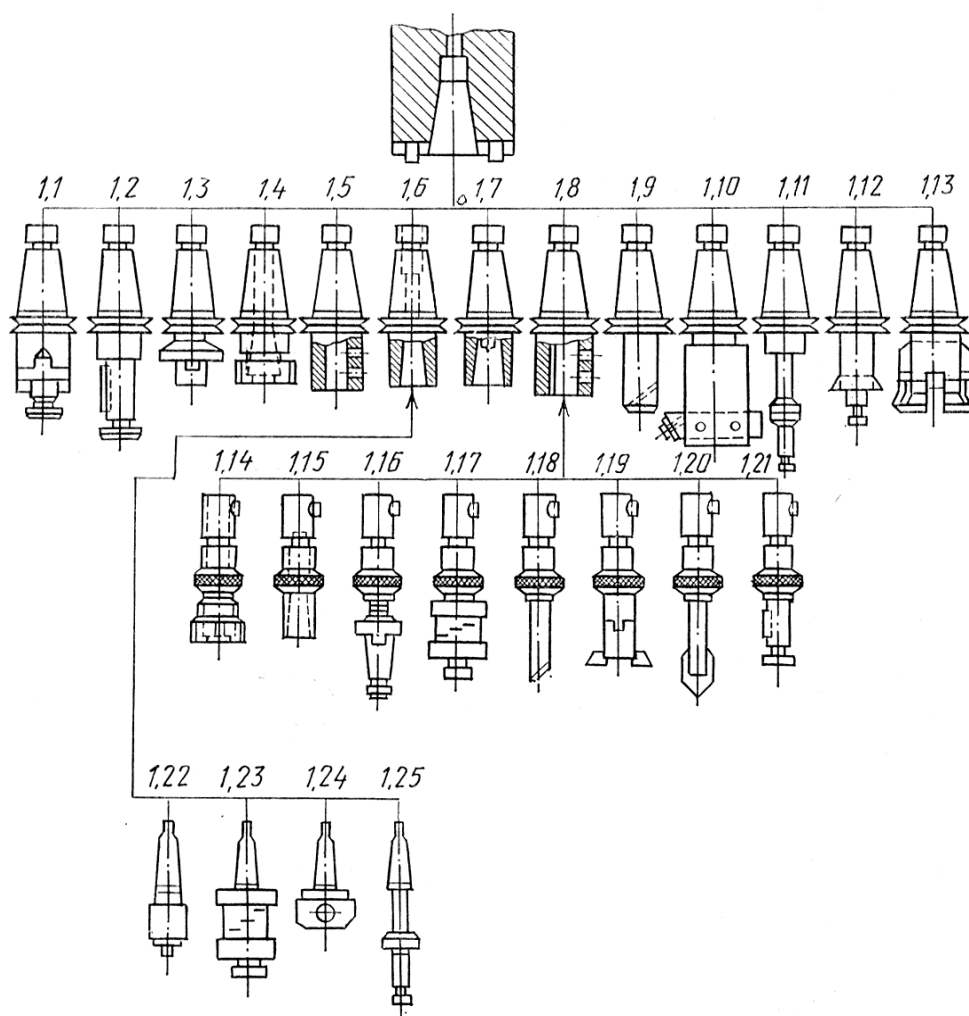
компресираща, цангата предава натиск върху цилиндричната опашка на режещия инструмент и го фиксира сигурно. След освобождаване на налягането (развиване на гайката) от цангата, тя се отваря и позволява да се извади режещият инструмент от патронника.

Основното предимство на цанговия патронник е възможността за закрепване на широка гама от режещи инструменти с набор от сменяеми цанги. В комплекта от цанги за един и същ патронник обикновено има цанги за закрепване на инструменти с опашки с диаметър от 6 mm до 30 mm или по-

Особено внимание трябва да се обърне на цанговите патронници (Фиг. 5.28), които най-често се използват при работа на машини с ЦПУ. Принципът на работа на такъв патронник е следният. Сменяемите цанги се вкарват в конусния отвор на патронника. Цангата има цилиндричен отвор, в който се вкарва цилиндричната опашка на режещия инструмент (диаметърът на опашката на режещия инструмент трябва да съвпада с номера на цангата). При затягане на гайката налягането се предава към челото на цангата, което води до притискането му в конусния отвор на патронника и компресиране в радиално направление. Когато се

големи. Цангата осигурява добро центриране на инструмента и сигурно затягане, но е лошо балансирана за високоскоростна обработка.

Спомагателните инструменти за машините от пробивно-фрезово-разстъргващата група (фрезови машини с ЦПУ и обработващи центри) се разработват като системи, при окомплектоването на които се използва модулният принцип (Фиг. 5.29). Инструмент, създаден от унифицирани модули, позволява групиране на детайлите, т.е. характеризира се с универсалност. Проблем е обаче изборът на връзка (съединителен елемент или съчетание от повърхнини и елементи), осигуряваща достатъчна стабилност, точност и повторемост на размерите на инструмента.



Фиг. 5.29. Система от спомагателни инструменти за фрезови машини с ЦПУ и обработващи центри [35, 36, 55]

1.1÷1.13 – държачи; 1.14÷1.25 - преходи и патронници; закрепването в 1.8 на преходите и патронниците позволява регулиране на осовите размери на инструментите извън машината

Конструкцията на спомагателните модулни инструменти (адаптори) се определя от присъединителните повърхнини на металоурежещата машина за установяване на инструменти и от присъединителните повърхнини на инструментите за установяване към машината. Адапторите се използват за промяна на дължината на инструмента или за промяна на диаметъра (при

свързване с по-голям диаметър или при свързване с по-малък диаметър). Механизмите за автоматична смяна и установяване на инструментите определят конструкцията на държача, която трябва да бъде еднаква за всички инструменти за дадена машина. Подреждането на адапторите става с подходящи по вид и по брой връзки и ги превръща в модулна инструментална система, която може да се използва многократно за обработване при различни производствени условия [35, 36, 55].

5.6. ОБРАБОТВАНЕ НА ДЕТАЙЛИ ЧРЕЗ ФРЕЗОВАНЕ ВЪРХУ МАШИНИ С ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ

Чрез фрезование се обработват равнинни и обемни повърхнини, които се получават или само с един преход на инструментите по дължината на контура, или чрез многопроходна обработка.

Фрезовата програмна операция включва: грубо обработване на външни и вътрешни повърхнини (отворени и затворени); чисто обработване на външни и вътрешни повърхнини; последователно обработване на големи (основни) отвори и на малки (крепежни) отвори. Последователността на преходите се определя от изискванията към качеството (точност и грапавост) на обработените повърхнини и към трайността на режещите инструменти при минимален брой спомагателни преходи.

Основните видове режещи инструменти, използвани за обработване на равнинни и обемни повърхнини чрез фрезование, са: опашкови цилиндрични фрези (с плоско чело, с плоско чело и закръгление, със сферично чело); опашкови конусни фрези; челно-цилиндрични фрези; дискови фрези (Фиг. 5.30 и Фиг. 5.31). Режещите инструменти (материал и геометрия) и режимите на рязане се избират както при обработване върху конвенционалните машини. Предпочитат се къси, стабилни, твърдосплавни инструменти, като изборът им при ограничен капацитет на инструменталния магазин зависи от възможностите им да обработват различни видове повърхнини.



Фиг. 5.30. Гама твърдосплавни челно-цилиндрични опашкови фрези [28]

Контурите се обработват главно с челно-цилиндрични (палцови, шпонкови) фрези. Траекторията на движение на инструмента включва участъци, свързани с

подвеждането му към обработваната повърхнина и врязване в нея, работен ход по направление на обработвания контур и отвеждане по допирателната към обработвания контур. При грубо обработване врязването става по нормалата към контура (Фиг. 5.32 а), а при чисто обработване – по допирателната към контура (Фиг. 5.32 б).



Фиг. 5.31. Гама челно-цилиндрични (опашкови и дорникови) и дискови фрези със сменяеми твърдосплавни пластини [30, 38, 75]

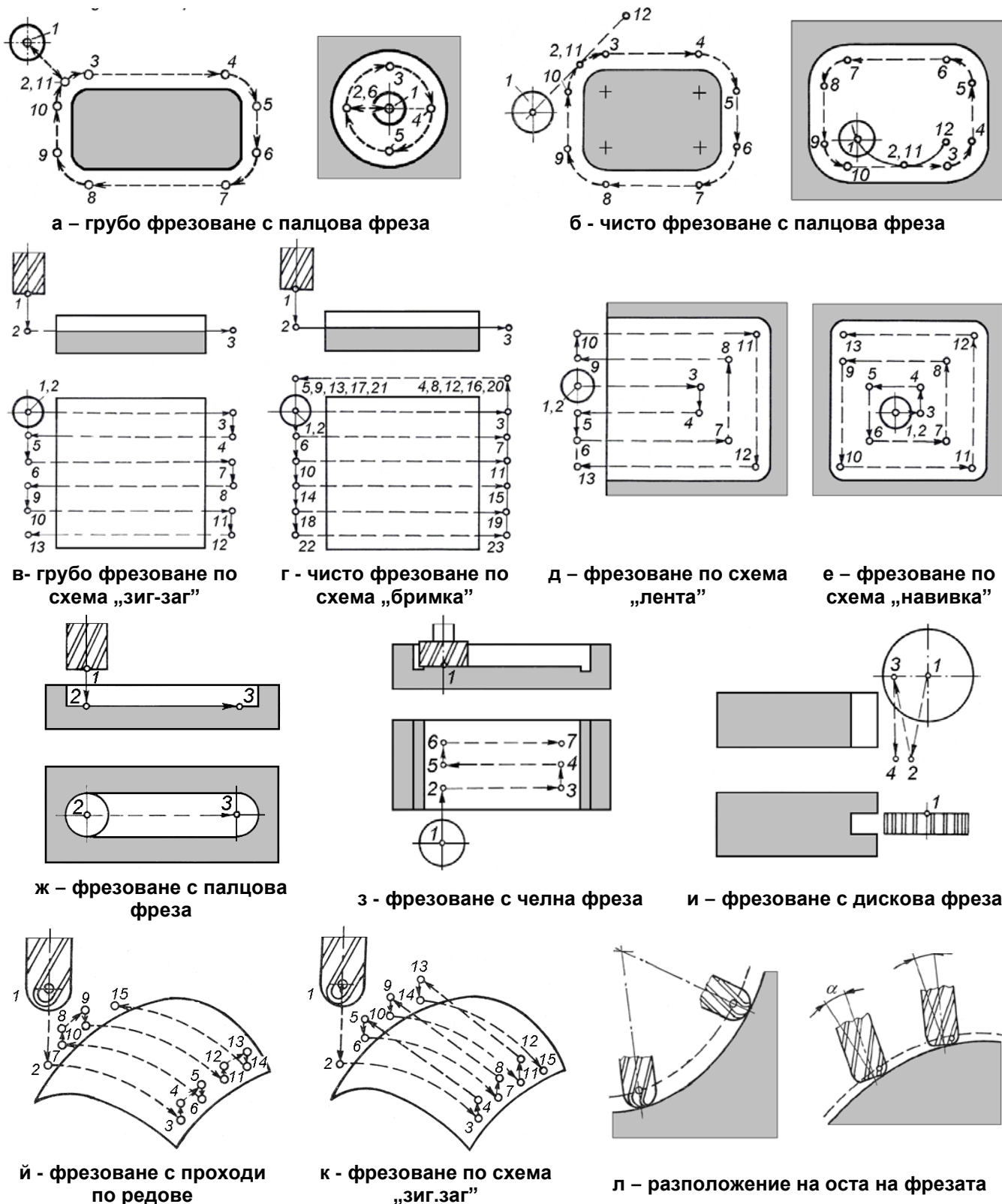
Равнинните повърхнини се обработват с челни или челно-цилиндрични опашкови и дорникови фрези, както следва:

- при грубо фрезование на открити повърхнини (неограничени повърхнини, при които няма препятствия за подвеждане и отвеждане на инструментите) се прилага схема „зиг-заг” (Фиг. 5.32 в), а при чисто фрезование - схема „бримка” (Фиг. 5.32 г);

- при фрезование на полуоткрити повърхнини (повърхнини, които имат

граница и препятствието е едно - или при подвеждане, или при отвеждане на инструмента) се използва схема „лента” (Фиг. 5.32 д);

- при фрезование на закрити повърхнини (ограничени отвсякъде повърхнини, при което е необходимо връзване или предварително пробит отвор за подвеждане на инструментите) се прилага схема „навивка” (Фиг. 5.32 е).



Фиг. 5.32. Схеми за фрезование на контури (а, б), равнинни повърхнини (в, г, д, е), канали (ж, з, и) и обемни повърхнини (й, к, л) [35, 36]

Каналите се обработват с челно-цилиндрични опашкови фрези и с дискови фрези.

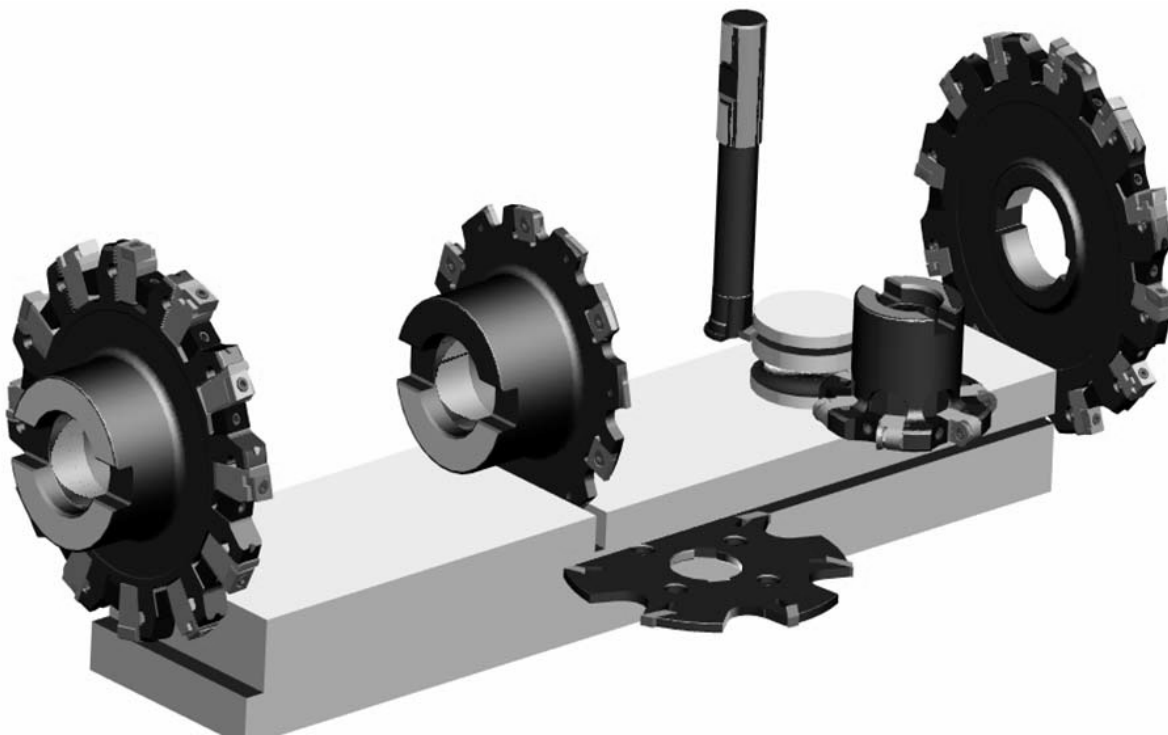
При фрезование на шпонков канал с палцова фреза (Фиг. 5.32 ж) предварително се пробива отвор за подвеждане на инструмента. Ако това е невъзможно, врязването се осъществява под ъгъл ($5\div 10^\circ$) към обработваната повърхнина.

При фрезование на полуоткрити повърхнини с челна фреза (Фиг. 5.32 з) предварително страничните повърхнини на канала се обработват с опашкова фреза с цел превръщане на полуоткритата повърхнина в открита. В този случай се използва обработване на открити повърхнини по схеми „зиг-заг“, „бримка“ и „рибена кост“. Схема „рибена кост“ се използва и при направа на преходен канал с дискова тристранна фреза (Фиг. 5.32 и).

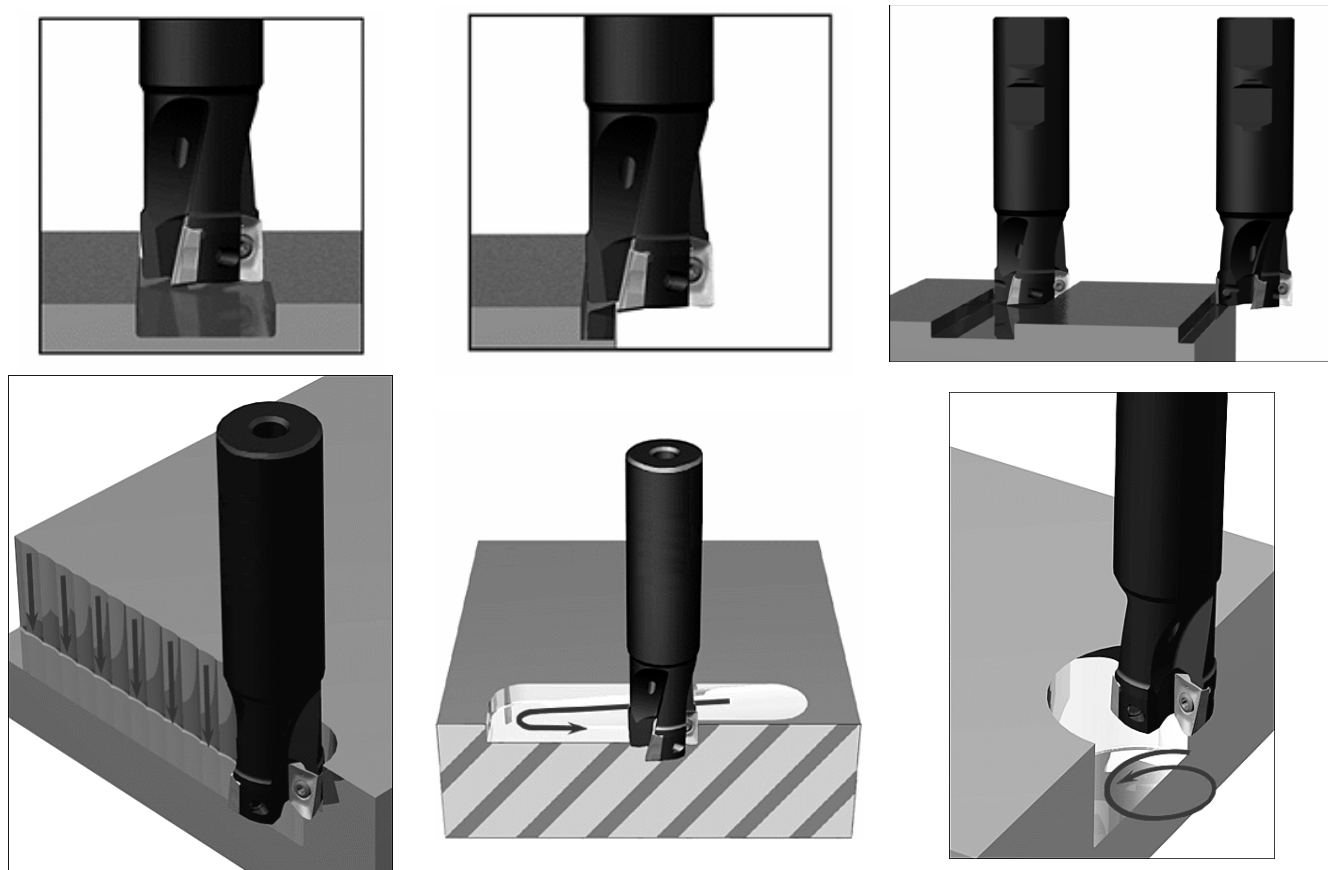
За да се построи траекторията на инструмента *при обемно обработване се използва методът за формообразуване със семейство направляващи повърхнини (успоредни или съосни), които са успоредни на една от координатните оси на машината*. При пресичане на обработваните и направляващите повърхнини се образуват контурни линии, за които се строи траекторията на режещия инструмент за проходите по редове (Фиг. 5.32 й) или по схема „зиг-заг“ (Фиг. 5.32 к).

При фрезование на обемни повърхнини оста на инструмента се завърта около фиксирана точка или на постоянен ъгъл спрямо нормалата на обработваната повърхнина (Фиг. 5.32 л).

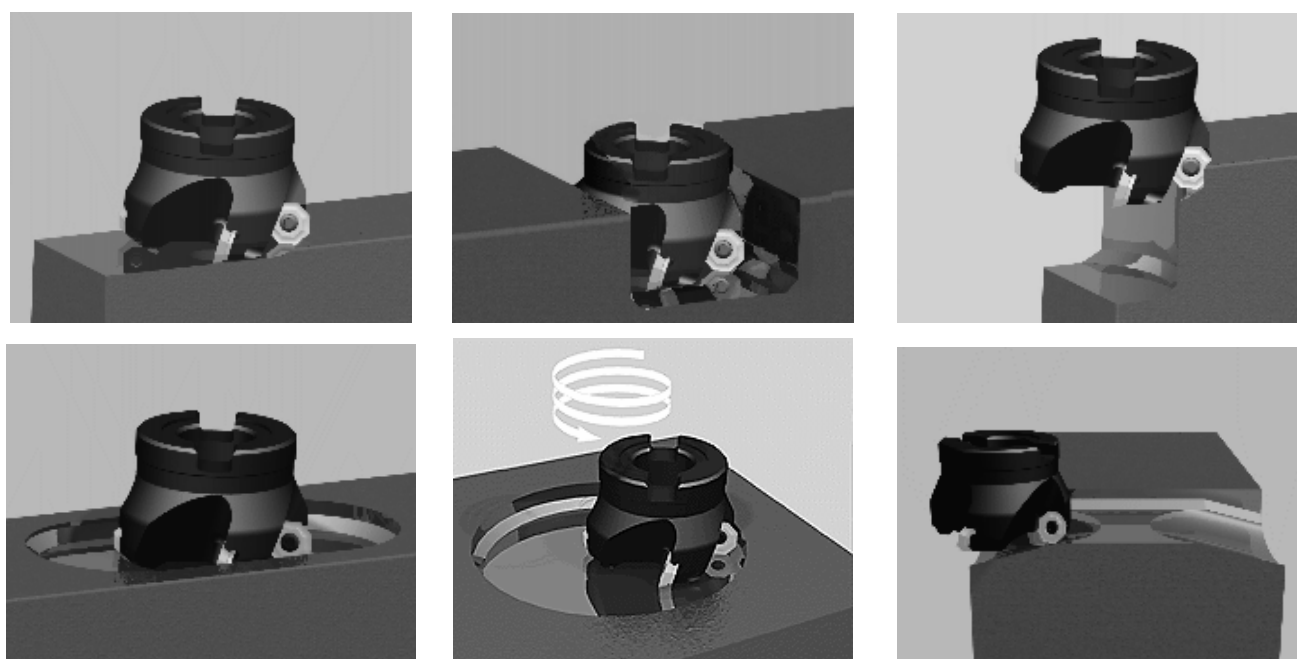
Технологични варианти на фрезование с дискови и челно-цилиндрични фрези върху машини с ЦПУ (фрезови машини и обработващи центри) са представени на Фиг. 5.33÷Фиг. 5.35.



Фиг. 5.33. Технологични варианти на фрезование с дискови фрези върху фрезови машини с ЦПУ и обработващи центри [30]



Фиг. 5.34. Технологични варианти на фрезоване с челно-цилиндрични опашкови фрези върху фрезери машини с ЦПУ и обработващи центри [30]



Фиг. 5.35. Технологични варианти на фрезоване с челно-цилиндрични дорникови фрези върху фрезери машини с ЦПУ и обработващи центри [30]

6.1. ТЕХНОЛОГИЧНИ ВЪЗМОЖНОСТИ

Резбовите и винтовите повърхнини могат да се обработват чрез рязане и чрез пластично деформиране (валцоване). По първия метод работят различни резбообработващи инструменти – резбонарязващи ножове и гребени, метчици, плашки, фрези, резбонарязващи глави, протяжки, прошивки и абразивни инструменти. По метода на пластичното деформиране работят валцовачи плоски плашки и ролки, валцовачи глави и др.

Процесът на нарязване на резби чрез стружкоотнемане се характеризира с:

- малка дебелина на срязваните слоеве материал (стотни части от милиметъра);

- участие в рязане едновременно на два (при нарязване на остроъгълни резби) или три (при нарязване на трапецовидни и правоъгълни резби) режещи ръба, което значително усложнява процеса на несвободно рязане;

- високи изисквания по отношение на точността на резбообработващия инструмент и на неговото установяване спрямо обработваната резба.

При обработването на резби чрез стружкоотнемане се прилагат *две принципни схеми*, които се реализират с различни режещи инструменти. Изборът им зависи от обема на производството, конструктивните особености на детайлите и на винтовите повърхнини, точността и грапавостта на резбовите повърхнини, наличното оборудване и изискванията към технологичния процес.

При *първата схема*, основана на *процеса струговане*, инструментът и обработваният детайл извършват помежду си *винтово движение*, оста на което съвпада с оста на резбата. *Главното движение е въртеливо и може да се извършва както от инструмента, така и от детайла*. По тази схема работят резбонарязващите ножове, резбонарязващите гребени, метчиците, плашките, резбонарязващите глави.

Втората принципна схема за обработване на резби е основана на процеса фрезование. Главното движение при резбофрезование е въртеливо и се извършва от инструмента - дискова фреза, гребеновидна фреза, ножова глава. Заедно с това се извършва и винтово подавателно движение на инструмента спрямо обработвания детайл, оста на което съвпада с оста на резбата.

Валцоването на резби е процес, при който профилът на резбата се получава чрез студено пластично деформиране, без да се снемат стружки. За тази цел инструментът упражнява натиск върху обработвания детайл, деформира метала по повърхността и придава своя резбови профил на детайла.

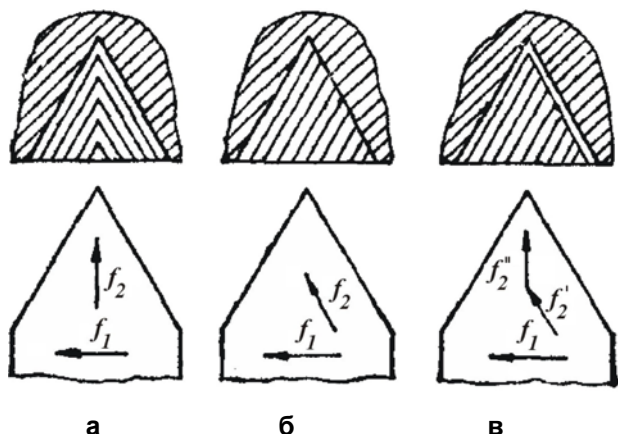
Валцоването е най-прогресивният метод за получаване на резби. Главните му предимства са: висока производителност; високо качество на резбата; по-голяма якост на резбата, тъй като влакната на метала само се деформират, без да се прерязват, както е при нарязването на резби. Благодарение на тези предимства, валцоването на резби е широко разпространено особено в серийното и масовото производство.

6.2. МЕТОДИ И ИНСТРУМЕНТИ ЗА НАРЯЗВАНЕ НА РЕЗБИ

6.2.1. Нарязване на резби с резбонарязващи ножове и гребени

А. Нарязване на резби с резбонарязващи ножове

Нарязването на резба с резбонарязващ нож се осъществява с главно въртливо движение на обработвания детайл и съгласувано с него осово преместване на ножа, равно на хода на резбата. Прибавката се изрязва чрез радиално подаване (Фиг. 6.1 а), ъглово (тангенциално) подаване (Фиг. 6.1 б) или комбинирано подаване (Фиг. 6.1 в) на всеки проход. Профилната схема (Фиг. 6.1 а) се използва при нарязване на резби със стъпки $p \leq 2,5 \text{ mm}$. За по-

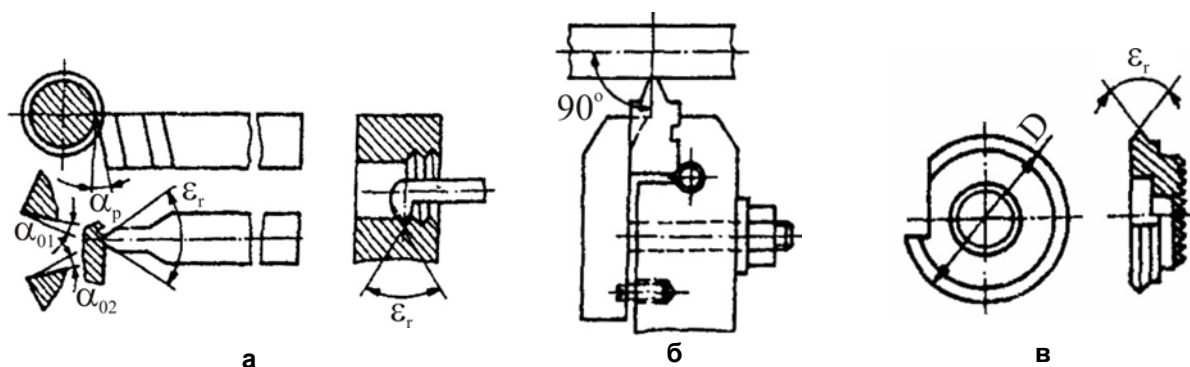


Фиг. 6.1. Схеми на изрязване на прибавката при нарязване на резба с нож
а – профилна; б – генераторна; в – комбинирана

големи стъпки се предпочита комбинираната схема (Фиг. 6.1 в). Броят на проходите, необходими за пълното формиране на профила на резбата, зависи от стъпката на резбата, обработвания материал и материала на режещата част на инструмента.

Резбонарязващите ножове се използват за нарязване на външни и вътрешни резби с различни профили на универсални стругове, стругови полуавтомати и автомати и стругови машини с ЦПУ. По конструкция те

биват прътови (Фиг. 6.2 а), призматични (Фиг. 6.2 б) и кръгли (Фиг. 6.2 в). Призматичните и кръглите ножове се използват основно в серийното и масовото производство, като допускат и по-голям брой презаточвания.



Фиг. 6.2. Резбонарязващи ножове

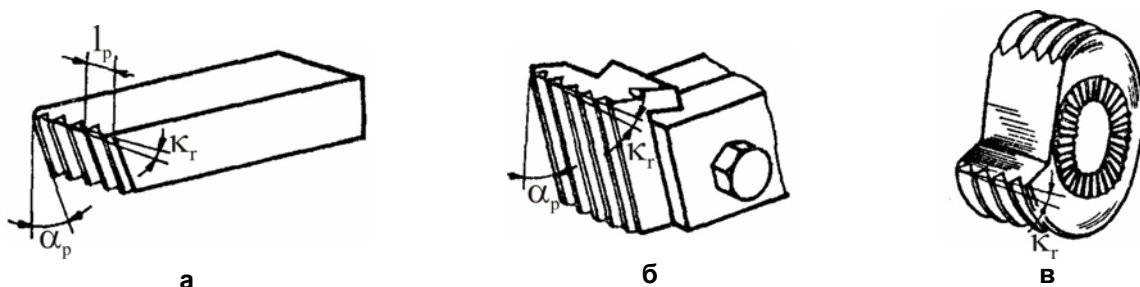
Работната част на резбонарязващия нож е с профил, съответстващ на профила на формираната резба. Най-често предният ъгъл на инструмента е $\gamma_p = 0^\circ$. Когато $\gamma_p > 0^\circ$, профилът на ножа се коригира, за да може да нарязва резба с точен профил.

Задните ъгли на двата режещи ръба се избират еднакви ($\alpha_{01} = \alpha_{02} = 5 \div 6^\circ$) при резба с малък ъгъл на подема на винтовата линия ($\omega = 3 \div 4^\circ$). В този случай

при резбонарязване ножовете се установяват така, че предната повърхнина на ножа да е успоредна на оста на резбата. При по-големи стойности на ъгъл ω , особено при нарязване на трапецовидни резби, е необходимо предната повърхнина на ножа да е перпендикулярна на навивките на резбата.

Б. Нарязване на резби с резбонарязващи гребени

За да се увеличи производителността на обработване, като се намали броят на проходите, се използват *прътови* (Фиг. 6.3 а), *призматични* (Фиг. 6.3 б) и *кръгли* (Фиг. 6.3 в) *резбонарязващи гребени* (*гребеновидни ножове*). Нарязването на резбата се извършва за един ход на инструмента, като при снемане на целия слой материал на резбовия канал всеки зъб поема еднакъв товар.



Фиг. 6.3. Резбонарязващи гребени

Резбонарязващите гребени са многоръбови инструменти, чиято *работна част се състои от режеща част с дължина $l_p = (1,5 \div 2)p$ и калибровача част с дължина $l_k = (5 \div 6)p$* . За да се разпредели прибавката между отделните зъби на гребена, той се изработва с ъгъл $\kappa_r = 25 \div 30^\circ$. Предният ъгъл на инструмента е $\gamma_p = 0^\circ$. При $\gamma_p > 0^\circ$ е необходимо коригиране на профила на режещите ръбове.

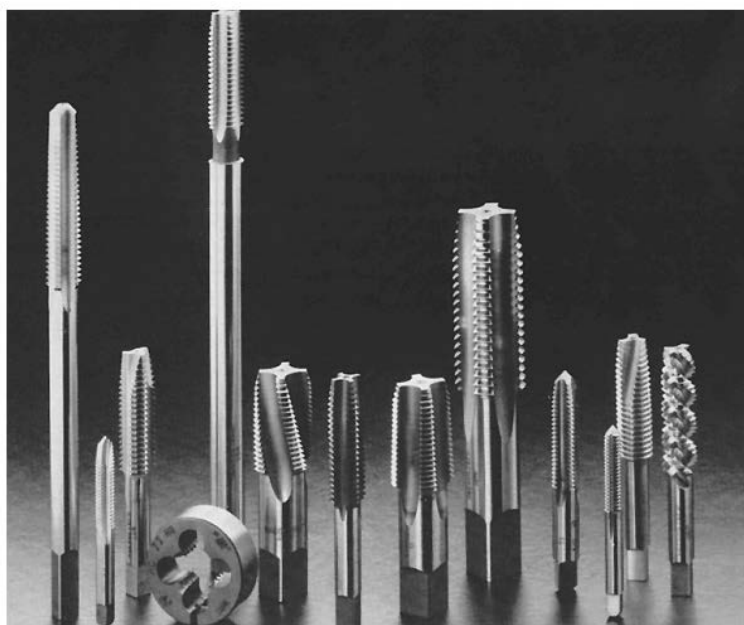
Резбонарязващите гребени се използват за обработване на едноходови и многоходови резби. Намират приложение главно за нарязване на резби с малки стъпки и в меки материали. За да се осигури по-високо качество на обработената резба, се използват два инструмента – за предварителна и чистова обработка.

6.2.2. Нарязване на резби с метчици, плашки и резбонарязващи глави

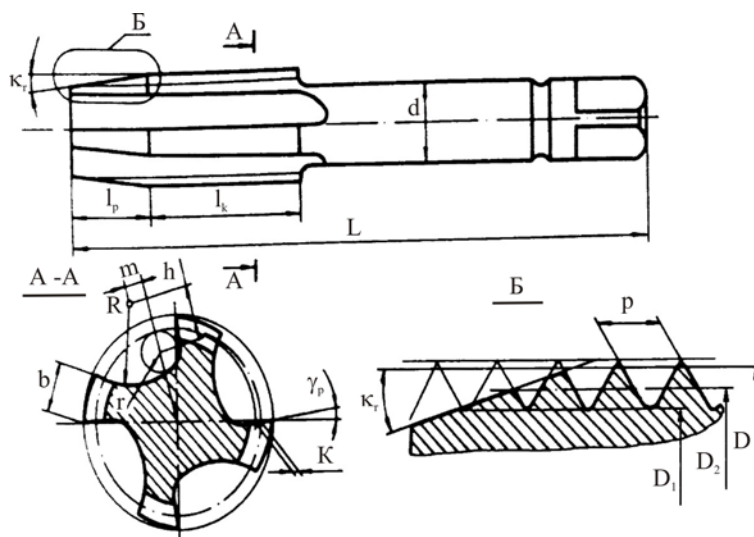
За нарязване на крепежни резби широко разпространение са получили метчиците и плашките.

А. Нарязване на резби с метчици

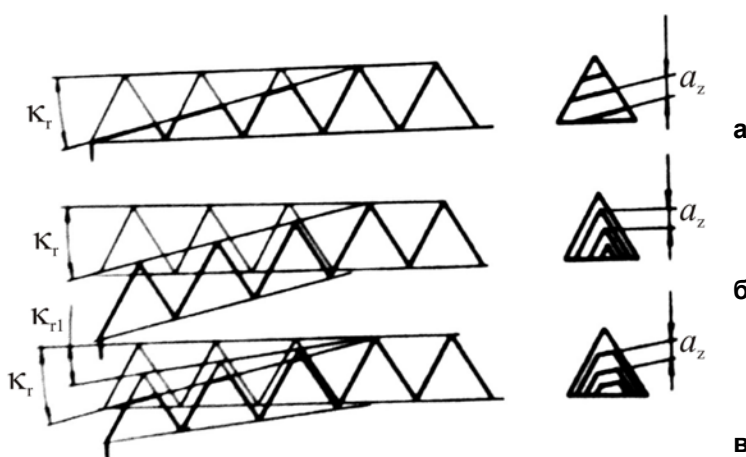
Метчиците са инструменти, които се използват за ръчно или машинно нарязване на вътрешни резби в светли и глухи отвори (Фиг. 6.4). Рязането се извършва при две съгласувани движения – главно въртливо движение около оста на обработвания отвор и подавателно праволинейно движение по оста на отвора. Принудително е само въртливото движение, което се изпълнява ръчно или машинно. Подавателното движение също може да е принудително, но строго съгласувано с въртливото, или става чрез самоподаване на инструмента. Повечето от метчиците работят чрез самоподаване, като само в началния момент е необходимо да се предаде осов натиск, докато започне нарязването на резбата.



Фиг. 6.4. Гама режещи метчици с различна форма и размери



Фиг. 6.5. Конструктивни и геометрични елементи



Фиг. 6.6. Схеми на изрязване на прибавката
а – генераторна; б – профилна; в – комбинирана

Метчиците са изградени от *режеща* (l_p), *калибровача* (l_k) и *съединителна част* (Фиг. 6.5).

Режещата част е основен конструктивен елемент на метчика, който сменя почти цялата прибавка в процеса на формообразуване на резбата. Тя се оформя като пресечен конус, по конусната повърхнина на който се разполагат режещите зъби така, че да се формират генераторна, профилна или комбинирана схема на изрязване на прибавката (Фиг. 6.6).

Метчиците, които изрязват прибавката по генераторната схема (основите на зъбите на режещата част лежат върху образуващата на цилиндър, а върховете - на конус) са с най-технологична конструкция и затова са намерили широко приложение (Фиг. 6.6 а).

Метчиците, които изрязват прибавката по профилната схема (основите на зъбите на режещата част лежат върху образуващата на конус, която е успоредна на тази, на която лежат върховете им), снемат тънки стружки и с двата си странични режещи ръба, имат по-добро водене и нарязват резбата още от първата навивка (Фиг. 6.6 б). Те обезпечават по-малка грапавост и по-висока точност на обработените повърхнини, неточността в стъпката на резбата на метчика се отразява по-

малко на точността на нарязваната резба. Зъбите на тези метчици обаче трябва да бъдат затиловани. В противен случай задният ръб на зъба се оказва при по-голям диаметър от този на вече нарязаната от предния режещ зъб резба, съпротивлението на обработвания материал силно нараства при по-нататъшното движение на метчика и може да предизвика счупването му. Освен това режещите зъби са много остри и бързо се износват.

Метчиците, които изрязват прибавката по комбинираната схема (Фиг. 6.6 в), се характеризират с много сложна технология на изработване. Резбата върху режещата част се прави върху конусна повърхнина, в резултат на което зъбите снемат стружки и странично, а вследствие на скосяването на резбата под ъгъл κ_{r1} се премахват острите върхове и трайността на инструментите се повишава.

Режещата част се характеризира с ъгъл на конуса $\kappa_r = 3 \div 20^\circ$ и дължина l_p , определена от стъпката на нарязваната резба - $l_p = 2p$ при нарязване на резби в глухи отвори, $l_p = 6p$ - при нарязване на резби в светли отвори и $l_p = 12p$ - при нарязване на резби в гайки.

Режещата част на метчиците се изработва с три или четири стружкови канала, които определят профила на зъбите и осигуряват правилно формиране, побиране и отвеждане на стружките.

Предният ъгъл трябва да е положителен и се избира в зависимост от физико-механичните свойства на обработвания материал: $\gamma_p = 0 \div 5^\circ$ при обработване на чугун, твърди стомани, бронз и месинг; $\gamma_p = 8 \div 10^\circ$ при обработване на стомани със средна твърдост; $\gamma_p = 12 \div 25^\circ$ при обработване на цветни метали и сплави. Задният ъгъл $\alpha_p = 6 \div 12^\circ$, като малките стойности са за ръчни метчици и при нарязване на резби в леки сплави. За получаване на заден ъгъл режещата част на метчиците се затилова.

Метчиците се изработват с прави или винтови стружкови канали (леви – за обработване на светли отвори; десни – за глухи отвори). Винтовите стружкови канали осигуряват надеждно отвеждане на стружките и плавна работа на метчика. Ъгълът на наклона на винтовите стружкови канали е $10 \div 15^\circ$, а при обработване на цветни метали - $25 \div 30^\circ$. При формиране на резби в светли отвори, с цел отвеждане на стружките напред, режещите ръбове на метчиците с прави стружкови канали се изработват наклонени с ъгъл $\lambda_s = 7 \div 10^\circ$.

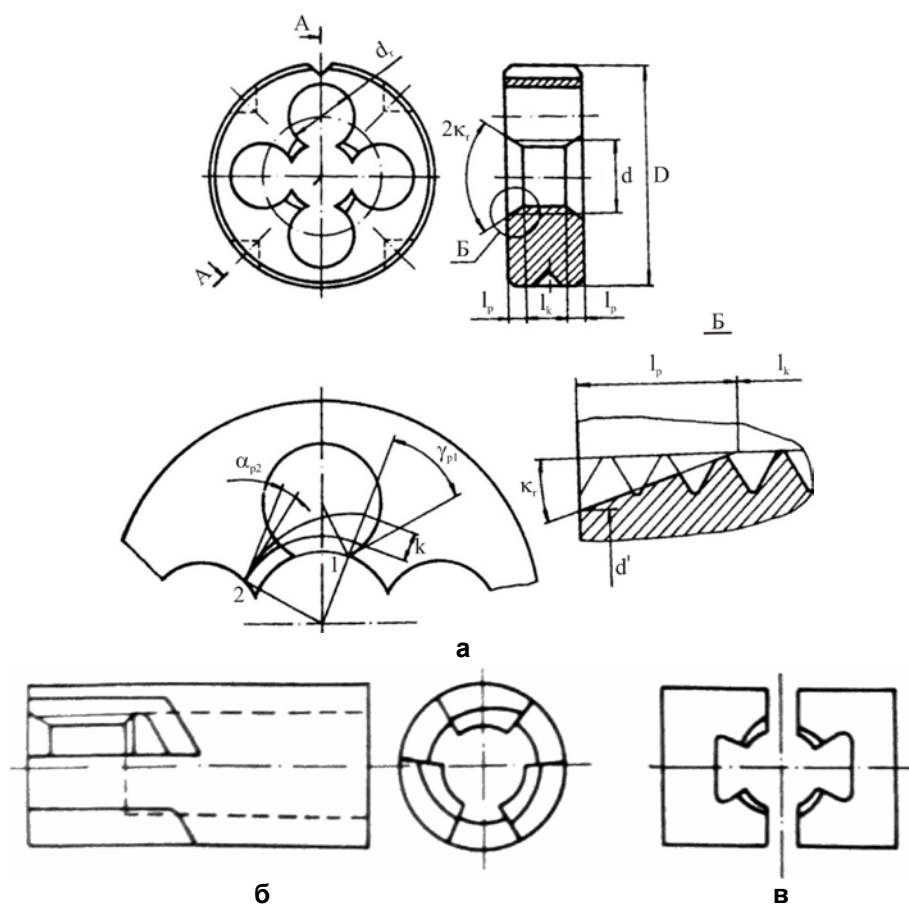
Калибровачната част осигурява необходимата точност и грапавост на формираната резба и се явява като резерв за презаточване. Дължината ѝ е $l_k = (6 \div 12)p$. За намаляване на триенето при развиването на резбата калибровачната част се изработва с обратна конусност (намаляване на диаметъра с $0,05 \div 0,1 \text{ mm}$ на 100 mm дължина) и затиловане по среден диаметър на резбата с височина на затиловане $K = 0,015 \div 0,02 \text{ mm}$, която гарантира задни ъгли в точките от страничните режещи ръбове в диапазона $15' \div 20'$.

При ръчно нарязване на резба, за да се намали въртящият момент и да се осигури по-високо качество на нарязваната резба, се използват комплекти от метчици. За нарязване на триъгълни резби метчиците в комплекта са два или три, а за нарязване на трапецовидни резби – до шест. По този начин се постига разделяне на работата при изрязването на прибавката (75% за първия и 25% за втория метчик при комплект от два метчика; 60%, 30%, 10% съответно за първия, втория и третия метчик при комплект от три метчика). Машинните метчици обикновено работят по един, като за намаляване на натоварването режещата им част е по-дълга и има по-малък ъгъл κ_r .

Б. Нарязване на резби с плашки

Плашките се използват за машинно или ръчно нарязване на външни резби чрез главно въртливо движение на обработвания детайл и осово подавателно движение на инструмента. Независимо че производителността при нарязване на резба с плашка и качеството на обработената резба са по-ниски в сравнение с други инструменти за нарязване на външни резби, плашките намират широко приложение, тъй като са евтини и лесно се експлоатират.

По конструктивна форма плашките са кръгли (Фиг. 6.7 а), тръбни (Фиг. 6.7 б) и призматични (Фиг. 6.7 в). С кръглите и тръбните плашки резбите се формират за един работен ход, а с призматичните – ръчно, за няколко работни хода. При машинно нарязване на резби задължително се използват специални патронници за компенсиране на грешките в установяването на инструмента.



Фиг. 6.7. Плашки – конструктивни и геометрични елементи
а – кръгла плашка; б – тръбна плашка; в – призматична плашка

Всяка плашка е изградена от *две режещи* (l_p) и *една калибровача част* (l_k) (Фиг. 6.7). *Режещите части* са разположени от двете страни и изрязват прибавката по генераторната схема. Те са конусни с установъчен ъгъл $2\kappa_r = 30 \div 70^\circ$, като по-малките стойности се препоръчват за обработване на твърди материали, а по-големите – за обработване на цветни метали и сплави. Режещите зъби са затиловани по върха с височина на затиловане, осигуряваща задни ъгли $\alpha_p = 6 \div 9^\circ$.

Калибровачата част се намира по средата и е с дължина $3 \div 15$ навивки. Задните повърхнини на калибровачите зъби не са затиловани и са със задни ъгли 0° .

Предните повърхнини на зъбите са цилиндрични и се формират чрез оформяне на отвори с диаметър d_r , положението на които се определя така, че предният ъгъл да е $10 \div 25^\circ$.

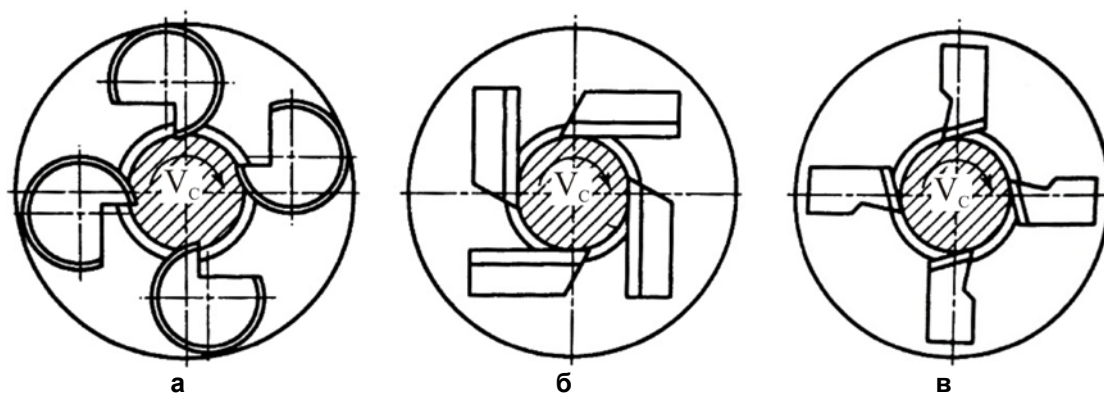
В. Нарязване на резби с резбонарязващи глави

За повишаване на производителността при нарязване на резби се използват специални *резбонарязващи глави* (Фиг. 6.8). В тялото на главата са закрепени резбонарязващи гребени – кръгли (Фиг. 6.8 а) или призматични (Фиг. 6.8 б, в). Резбонарязващи глави се използват и за нарязване на вътрешни резби, но за отвори с диаметър над 20 mm .

Обработването на резби се извършва по две схеми:

- с въртяща се резбонарязваща глава;
- с невъртяща се резбонарязваща глава.

Резбонарязващата глава извършва и възвратно-постъпателно движение, като в края на работния ход резбонарязващите гребени се отварят със специален механизъм и главата се отвежда назад на бърз ход.



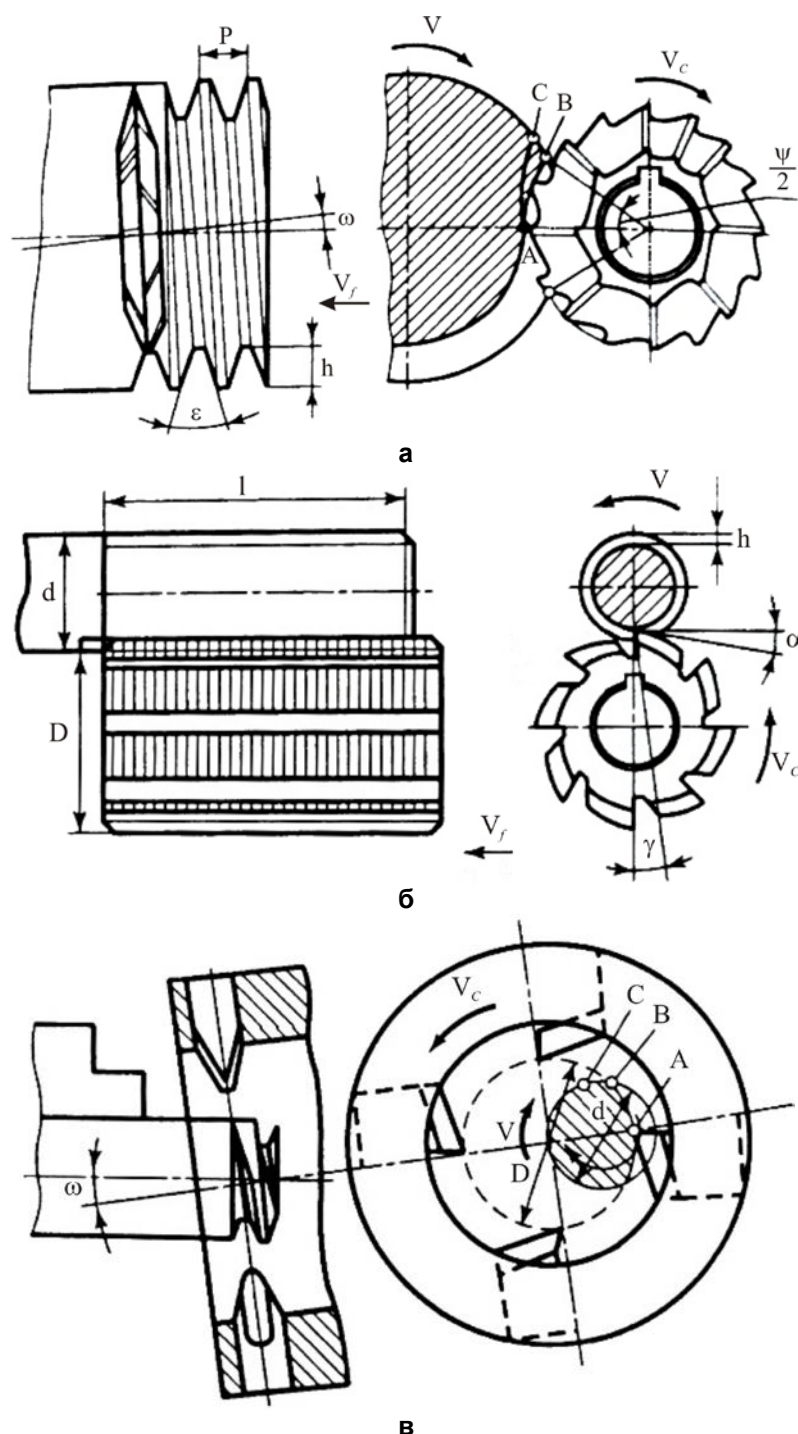
Фиг. 6.8. Схеми на нарязване на резба с резбонарязващи глави

6.2.3. Фрезование на резби

Резбофрезването се прилага за обработване на външни и вътрешни резби, като в качеството на режещи инструменти се използват *резбонарязващи фрези* (дискови и гребеновидни) и *ножови глави*. Характеризира се с висока производителност, но точността на нарязаната резба е по-ниска от тази, която

се получава при струговане. Дисковите фрези обикновено се използват за нарязване на трапецовидни резби, а гребеновидните фрези – за нарязване на къси резби с малък ъгъл на подема на навивките. Ножовите глави са многозъбни инструменти за скоростно фрезование на вътрешни и външни метрични и трапецовидни резби, червяци и дълги винтове.

При **нарязване на резби с дискови фрези** (Фиг. 6.9 а) осите на инструмента и обработвания детайл се разполагат под ъгъл ω , равен на ъгъла на подема на нарязваната резба. След настройване на фрезата на дълбочината на профила h



Фиг. 6.9. Фрезование на резби

а – с дискова фреза; б – с гребеновидна фреза;
в – с ножова глава

се реализират следните движения: главно въртеливо движение на инструмента със скорост V_c и винтово подавателно движение (бавно въртеливо движение на обработвания детайл със скорост V и надлъжно преместване на фрезата или детайла на стъпката p или на хода на резбата за един оборот на обработвания детайл). Всеки зъб на фрезата сменя слой материал ACB , като $BC = f_z$ – кръгово подаване на обработвания детайл, mm/z .

При **резбофрезование с гребеновидни фрези** осите на инструмента и обработвания детайл са успоредни, като дължината на фрезата е с $2 \div 3$ стъпки по-голяма от дължината на нарязваната резба (Фиг. 6.9 б). Обработваният детайл се върти със скорост V . Фрезата извършва едновременно въртеливо (главно) движение със скорост V_c , напречно (радиално) подаване на пълната дълбочина на профила h и надлъжно (осово) подаване, равно на стъпката на резбата p . Времето за обработване е малко по-голямо

от времето за един пълен оборот на обработвания детайл и за осовото преместване на една стъпка.

Нарязването на резба с ножова глава (вихрово нарязване) се извършва с висока скорост на въртене на инструмента ($V_c = 200 \div 300 \text{ m/min}$), при която стружките се разлитат в различни посоки, създавайки впечатлението за вихър. Ножовите глави са изградени от четири специално профилирани ножа, които при работа описват окръжност с диаметър D . В зависимост от разположението на траекторията на ножовете са възможни два метода на вихрово нарязване. При първия метод ножовата глава обхваща обработвания детайл (Фиг. 6.9 в), а при втория – детайлът е разположена странично на ножовата глава. По-голямо приложение е намерил първият метод поради постепенното връзване на ножовете в материала и получаването на по-малка грапавост на обработената повърхнина.

Въртеливото движение на ножовата глава и на обработвания детайл са съгласувани така, че:

$$zf_z n = \pi d n_w, \quad (6.1)$$

където: n - честота на въртене на ножовата глава; n_w - честота на въртене на обработвания детайл; d - диаметър на детайла; $f_z = 0,4 \div 1,2 \text{ mm/z}$ - кръгово подаване на един нож (зъб), което се избира в зависимост от твърдостта на обработвания материал (за обработване на по-твърди материали f_z е по-малко); z - брой на ножовете.

От формула (6.1) се определя честотата на въртене на обработвания детайл в зависимост от допустимото кръгово подаване:

$$n_w = \frac{zf_z n}{\pi d}, \text{ min}^{-1}. \quad (6.2)$$

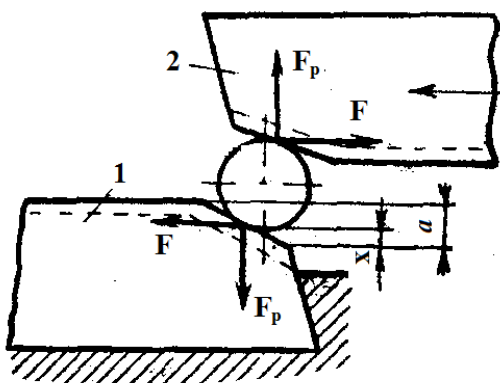
Честотата на въртене на ножовата глава е $n = \frac{10^3 V_c}{\pi D}$. Тя се определя от равенството на кинематичната и технологичната скорост на рязане ($V_c = V_{c_{\text{техн}}}$) и като се вземе предвид емпиричната зависимост за определяне на $V_{c_{\text{техн}}}$:

$$V_{c_{\text{техн}}} = \frac{C_{V_c} d^{z_{V_c}}}{T^m f_z^{x_{V_c}} p^{y_{V_c}}} (D/d)^{u_{V_c}} K_{V_c}, \text{ m/min}, \quad (6.3)$$

където стойностите на константата C_{V_c} , степенните показатели $x_{V_c}, y_{V_c}, z_{V_c}, u_{V_c}$ и корекционния коефициент K_{V_c} се определят от справочници. Препоръчва се съотношението между диаметъра на траекторията на ножовете и диаметъра на обработвания детайл да е $D/d \leq 1,4 \div 1,6$ [51].

6.3. МЕТОДИ И ИНСТРУМЕНТИ ЗА ОБРАБОТВАНЕ НА РЕЗБИ ЧРЕЗ ПЛАСТИЧНО ДЕФОРМИРАНЕ

Чрез студено пластично деформиране (валцоване) се обработват различни външни и вътрешни, едноходови и многоходови резби.



Фиг. 6.10. Резбовалцоване с плоски плашки

За обработване на външни резби се използват *плоски плашки* и *валцоваци ролки*. За вътрешни резби с големи диаметри се прилагат *резбовалцоваци ролки*, а за резби с малки диаметри – *пластично деформиращи метчици*.

Плоските плашки се използват за валцоване на външни резби с малки диаметри ($3 \div 24 \text{ mm}$) и дължини ($60 \div 80 \text{ mm}$) и с невисоки изисквания за точност. Резбата се обработва с две плашки (Фиг. 6.10). Плашка 1 е неподвижно закрепена към масата на машината, а плашка 2 – към

плъзгача на машината и извършва чрез него възвратно-постъпателно движение. Обработваният детайл се подава между формообразуващите (наклонените) части на плашките и при протъркаването между тях се образува профилът на резбата. При валцоването възникват големи радиални сили F_p , които се стремят да раздалечат плашките, и тангенциални сили F , които въртят детайла.

Валцоването с плоски плашки е високопроизводителен метод за обработване на резби – на всеки двоен ход се обработва един детайл, а за една минута – $100 \div 120$ броя детайли. По-големи диаметри резби не могат да се валцоват с плоски плашки, понеже се получават големи сили.

Плашките представляват стоманени плочки, върху работната страна на които са обработени разгънати навивки на резба с ъгъл на подема, равен на този на валцованата резба. Профилът на резбата на плашката е еднакъв с профила на валцованата резба.

Неподвижната плашка се състои от три части – формообразуваща, калибровача и изхвърляща. Формообразуващата част е наклонена, което дава възможност при протъркаването постепенно да се формира профилът на резбата. От наклона, респективно от дължината на формообразуващата част, зависят продължителността и точността на формирането на резбата. Калибровачата част е предназначена за окончателно формиране и калиброване на резбата, а изходната част – за по-плавно изхвърляне на детайла от плашките. Тя има форма и размери, еднакви с тези на формообразуващата част, за да може плашката да се обърне, след като формообразуващата част се износи.

Подвижната плашка съдържа само формообразуваща и калибровача част и се износва по-бързо от неподвижната плашка. Установено е, че най-голяма трайност на плашките се получава, когато двете плашки са с еднаква дължина на формообразуващата част.

Валцованите ролки могат да работят по две схеми:

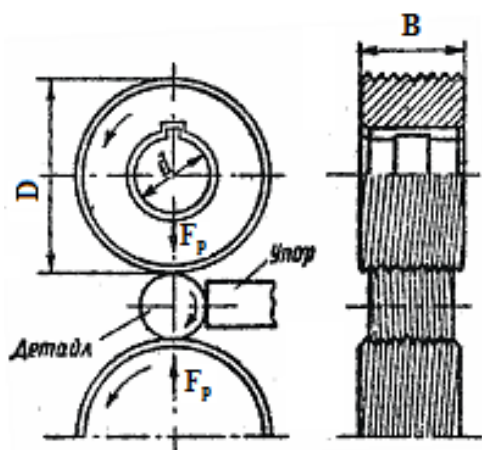
- с радиално подаване на ролките към обработвания детайл, без осово изместване на детайла;
- с осово подаване на обработвания детайл при постоянно междуцентрово разстояние на ролките.

Валцоването се реализира с една, две (Фиг. 6.11) или три ролки, работещи

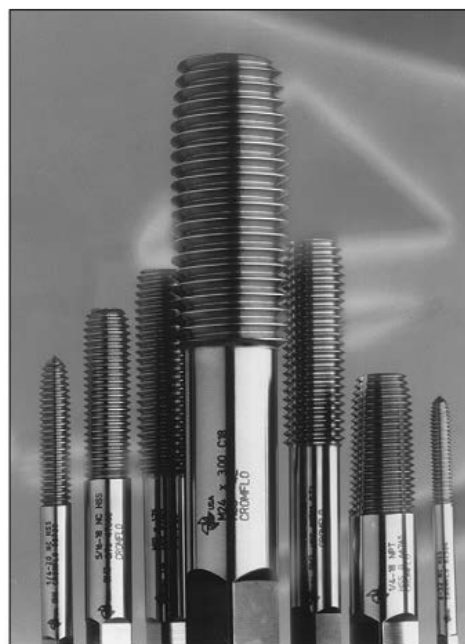
по една от двете схеми. Диаметърът на ролките е няколкократно по-голям от диаметъра на обработвания детайл. За да се запази ъгълът на подема на резбата, ролките се изработват с многоходова резба, като броят на ходовете е равен на съотношението на средния диаметър на валцоващата ролка и средния диаметър на валцованата резба.

Валцоването с ролки осигурява по-точна и гладка резба в сравнение с плоските плашки, но е с по-малка производителност (60÷80 броя детайли за минута). По този метод могат да се обработват резби със значително по-голям диапазон на диаметрите.

Пластично деформиращите метчици се използват за обработване на резби с малки диаметри (1÷16 mm), предимно в пластични материали (Фиг. 6.12). Тези метчици нямат стружкови канали и се състоят от конусна формообразуваща част с конусна резба и калибровача част с цилиндрична резба. В напречно сечение формообразуващата и калибровачата част имат многостенна форма (тристенна, четиристенна и петстенна). Резбата може да бъде с пълна височина по целия периметър или само по върховете на многостена.



Фиг. 6.11. Валцоване на резба с две ролки



Фиг. 6.12. Гама пластично деформиращи метчици

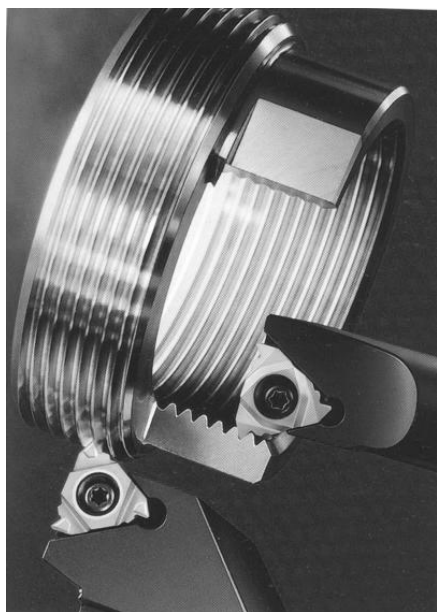
Пластично деформиращите метчици работят по същия начин, както режещите, и върху същите машини. Инструментите извършват въртеливо и постъпателно движение, при което формообразуващата част деформира материала на обработвания детайл и го изтласква в радиално и осово направление. Процесът протича при голямо триене с плъзгане, поради което възникват големи сили и въртящи моменти. За намаляване на триенето се използват подходящи СОТ и се намалява контакта на инструмента и обработвания детайл вследствие на хлабината между многостена и обработваната резба.

6.4. ОБРАБОТВАНЕ НА РЕЗБИ ВЪРХУ МАШИНИ С ЦПУ

6.4.1. Обработване на резби чрез струговане

Едно- и многоходови цилиндрични и конусни резби, както и винтови повърхнини с различен профил, с постоянна или изменяща се по определен закон стъпка на винтовата повърхнина могат да се обработват върху металорежещи машини с ЦПУ, които имат връзка между въртеливото и постъпателното движение на работните органи, осигуряваща синхронизация на линейната интерполация на подавателното движение с въртеливото движение на вретеното.

При струговане на резбови повърхнини върху машини с ЦПУ (Фиг. 6.13) се реализира многопроходно обработване, което се състои от няколко груби прохода и един чистови с неголяма прибавка, който може и да не се извършва.



Фиг. 6.13. Струговане на външни и вътрешни резби

Технологичните схеми на изрязване на прибавката са: с радиално врязване на резбонарязващия нож (Фиг. 6.1 а); с тангенциално (ъглово) подаване на ножа в направление на една от страните на профила на резбата (Фиг. 6.1 б); с преместване на ножа последователно по всяка една от страните на профила - комбинирана схема (схема „зиг-заг“). Изборът на технологична схема оказва влияние върху стружкообразуването, качеството на резбата и трайността на инструмента.

При радиално врязване на резбонарязващия нож едновременно участие на двата режещи ръба възпрепятства образуването на наклеп, но силите на рязане се увеличават при по-големи стъпки на обработваната резба. Отделяната топлина се концентрира във върха на пластината – най-слабото ѝ място, което води до по-бързо износване. Формирането на стружката от двете страни на пластината във вид на буквата V възпрепятства достигането на СОТ до върха на пластината, което също интензифицира износването ѝ. Съществува риск от възникване на вибрации и трудности при отвеждане на стружките при нарязване на резби с големи стъпки. Затова схемата с радиално врязване на резбонарязващия нож се препоръчва за резби със стъпки до 2 mm.

Схемата с тангенциално врязване на резбонарязващия нож има неоспорими предимства пред схемата с радиално подаване. Повечето машини с ЦПУ имат стандартен цикъл за нарязване на резба, използващ този метод. При тангенциално врязване на инструмента има по-добро стружкообразуване и стружкоотвеждане, по-добро охлаждане на върха и по-добро разпределение на топлината. Последните няколко прохода (или поне един от тях) е необходимо да са с радиално врязване за получаване на по-качествена повърхнина на навивките (Фиг. 6.1 в).

При схема „зиг-заг“ се постига равномерно износване на инструмента и

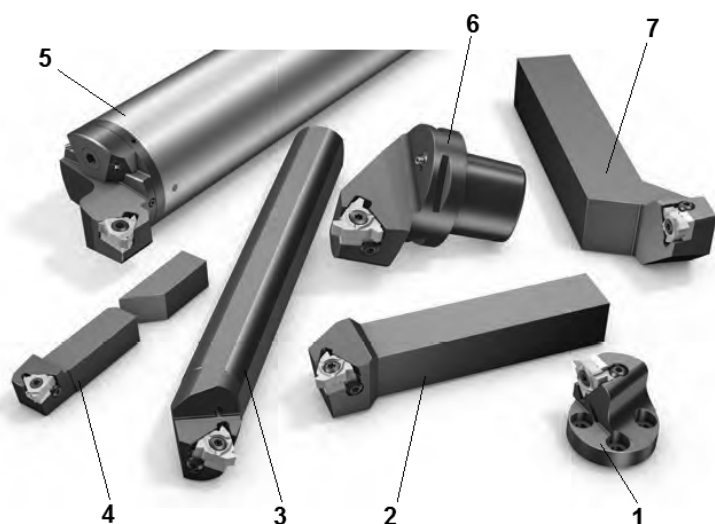
трайността на пластината е най-голяма, т.к. двата режещи ръба се използват последователно. Осигурява се добро стружкообразуване и стружкоотвеждане, подобно на това при тангенциалното връзване на резбонарязващия нож. Схемата се препоръчва за нарязване на резби със стъпки по-големи от 5 mm и изисква специално програмно обезпечаване.

При обработване на резби чрез струговане се използва широка гама от инструменти със сменяеми пластини (Фиг. 6.14). При избор на резбонарязващ нож трябва да се отчитат формата на обработвания детайл, разположението на инструмента върху машината, типът на машината и условията на рязане, изискванията към формирането и отвеждането на стружките, направлението на винтовата линия на резбата.

Профилът на резбонарязващия нож трябва да съответства на профила на обработваната резба. Например при нарязване на триъгълна резба в ножовете се установяват твърдосплавни пластини, които имат от един до три зъба (върха)

(Фиг. 6.15). Когато се използва пластина с един зъб, тя може да бъде с пълен или с непълен профил (Таблица 6.1).

Пластините с пълен профил са най-разпространеният тип пластини за нарязване на прецизни резби с определена стъпка в условията на серийно производство. Те напълно формират профила на резбата, включително и неговите върхове. Оформят външния и вътрешния диаметър на резбата и стените на отделните навивки, при което операторът трябва да контролира само средния диаметър на резбата. За различни стъпки и профили на резбата обаче са необходими различни пластини. Прибавката по диаметър преди резбонарязване трябва да е $0,03 \div 0,07 \text{ mm}$. Резбонарязването е високопроизводително, като за формиране на профила е необходим по-малък брой на проходите в сравнение с този при нарязване на резба с пластини с непълен профил.



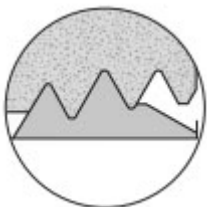
Фиг. 6.14. Гама инструменти за нарязване на външни и вътрешни резби чрез струговане [26, 27, 30]

- 1 - режеща глава за нарязване на вътрешни и външни резби (прилага се с антивибрационни дорници);
- 2 – резбонарязващ нож с държач с правоъгълно сечение - прилага се за нарязване на външни резби; 3 – разстъргващ нож за вътрешна резба; 4 – система за закрепване за нарязване на малки резби върху надлъжни стругови автомати; 5 – система бързосменяеми глави за нарязване на едри вътрешни резби; 6 – инструмент с опашка Coromant Capto за нарязване на външни и вътрешни резби; 7 – резбонарязващ нож с държач за обърната позиция на инструмента



Фиг. 6.15. Твърдосплавни пластини (едно- и много-зъби) за нарязване на резба чрез струговане [26]

Таблица 6.1. Формиране на профила на резбата при обработване чрез струговане и резбофрезозване [88]

Вид на пластината	Обработване на резби чрез струговане	Резбофрезозване
Пластини с пълен профил		
Пластини с непълен профил		
Многозъбни пластини		

Пластината с непълен профил не обработва върха на профила на резбата. Тя оформя вътрешния диаметър на винта, респективно външния диаметър на гайката, както и стените на отделните навивки. Именно поради това е необходимо точно обработване на външната, респективно на вътрешната ротационна повърхнина на детайла, преди нарязването на резбата. Пластината с непълен профил притежава максимална гъвкавост и универсалност – тя може да се използва за обработване на резби с различни стъпки в определен диапазон, при условие че ъгълът на профила (60° или 55°) е еднакъв. Следователно пластините с непълен профил осигуряват резбонарязване с минимална номенклатура на инструментите, т.е. необходимо е малко количество пластини за обработване на различни резби. Препоръчва се използването им в условията на единично производство.

При резбонарязване с пластини с един зъб силите на рязане са по-малки спрямо тези при обработване с пластини с два или три зъба, но броят на проходите е по-голям. С един и същ зъб се извършват грубите и чистите проходи, което предполага по-голямо износване на пластината.

Когато се използват пластини с два или три зъба (Фиг. 6.15, Таблица 6.1), резбата се нарязва с по-малък брой проходи, като последният зъб оформя окончателно профила на резбата. Осигурява се по-висока производителност, но силите на рязане са по-големи, особено при обработване на трудно-обработваеми материали. Това изисква многозъбни пластини да се прилагат само при осигуряване на висока стабилност на системата МПД. Многозъбите пластини имат по-голяма трайност от пластините с един зъб, но за обработване на резби с различни стъпки са необходими различни пластини.

Резбонарязването чрез струговане е уникална операция със свои собствени правила. При струговане, ако е необходимо, всеки елемент на режима на рязане може да се променя независимо от другите. При нарязване на резба обаче не е така. Инструментът е „принуден“ да работи с подаване, равно на стъпката (хода) на резбата. Поради особената форма на пластината за резба натоварването е много по-голямо в сравнение с това на пластината за струговане. Задният ъгъл на инструмента трябва да бъде съобразен с ъгъла на подема на резбата и да е по-голям от него, което при по-големи стъпки може да създаде проблем, а именно да доведе до намалено сечение на инструмента и пластината.

Освен че реже, пластината за резба оформя профила на резбата. Дори малки ъглови отклонения при настройването на ножа за резба водят до грешки в окончателната форма на резбата. Аналогично влияние оказва и износването на пластината.

Нарязването на резба с нож има редица предимства - осигурява получаване на резби с различен профил, възможности за нарязване на резби в дълбоки отвори с използване на антивибрационни дорници, прилагане на стандартни цикли за нарязване на резби върху машини с ЦПУ, както и достигане на 90% от теоретичната дълбочина на резбата, което е трудно достижимо с голяма част от другите методи. От своя страна, въвеждането на CNC системите позволява значително повишаване на производителността и качеството на резбите.

6.4.2. Обработване на резби чрез фрезование

За фрезование на резби върху фрезови машини с ЦПУ и обработващи центри се използват резбонарязващи фрези – монолитни и със сменяеми твърдосплавни пластини (Фиг. 6.16). Използват се пластини с един зъб с пълн или с непълн профил, както и многозъбни пластини (Таблица 6.1).

Профилът на резбата се оформя за един преход в резултат на винтовата траектория на движение на инструмента в направление на оста на отвора (винтова интерполация) (Фиг. 6.17). Преместването на резбонарязващата фреза се осъществява по трите оси X , Y и Z , като диаметърът на резбата зависи от преместването по осите X и Y , а стъпката на резбата - от преместването по ос Z . Изместването на инструмента за един оборот е равно на стъпката на резбата. В зависимост от избраната траектория на движение могат да се нарязват леви и десни резби, да се реализира попътно или насрещно фрезование.

При нарязване на дясна вътрешна резба (Фиг. 6.17) фрезата се приближава максимално близко до дъното на отвора, като се върти по часовниковата стрелка. След това, движейки се по винтова линия в посока обратна на часовниковата стрелка, започва да се придвижва към изхода на отвора. При това се осъществява попътно фрезование. При насрещно фрезование фрезата се върти по часовниковата стрелка, а се движи по винтова линия по посока на часовниковата стрелка.

Фрезването на лява вътрешна резба се осъществява в посока от входа към дъното на резбата. При това фрезата се върти в посока обратна на часовниковата стрелка, обезпечавайки попътно фрезование.

Работните движения са аналогични при нарязване на дясна и лява външна резба (Фиг. 6.17).

За да се постигне високо качество на резбата при разбофрезование, трябва да се спазват следните изисквания [89]:

- да се избира минимален диаметър на фрезата – препоръчва се диаметърът на фрезата да е равен на 70% от диаметъра на отвора, за да се избегнат отклоненията в профила на резбата;

- да се осъществяват плавно врязване и плавен изход на инструмента по плавна дъга; плавно врязване позволява да се намали дебелината на стружката, намалява риска от вибрации и води до увеличаване на трайността на инструмента;

- да се работи с минимално подаване на зъб – препоръчва се подаването на зъб да не е по-голямо от 0,15 mm/z, за да се осигури минимална дебелина на срязвания слой материал;

- правилно да се задава подавателната скорост, като се отчитат особеностите на машината с ЦПУ – по този начин се намалява натоварването на пластината;

- да се разделя прибавката на няколко прохода при обработване на резби с големи стъпки – това изключва вероятността от счупване на инструмента при обработване на труднообработваеми материали и гарантира стабилност на процеса, дори когато инструментът работи с голяма конзолност и при неблагоприятни условия.



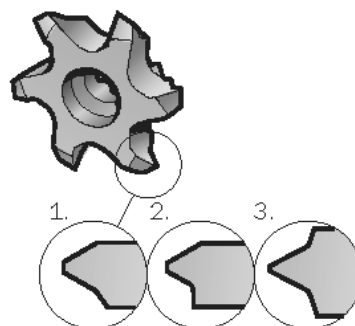
а



б



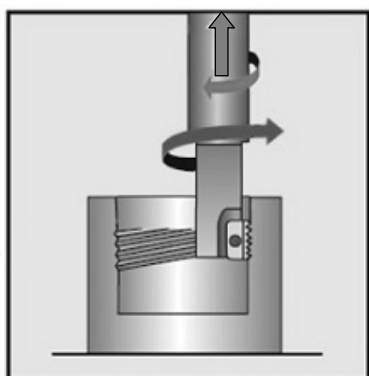
в



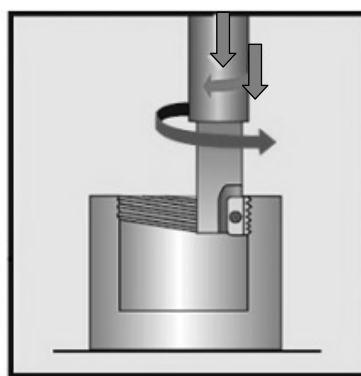
г

Фиг. 6.16. Резбонарязващи фрези [26, 27, 30, 31, 89]

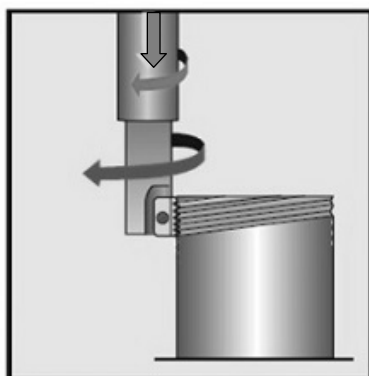
а - монолитни твърдосплавни резбонарязващи фрези; б, в – резбонарязващи фрези със сменяеми твърдосплавни пластини; г- твърдосплавна пластина за фрезование на резба



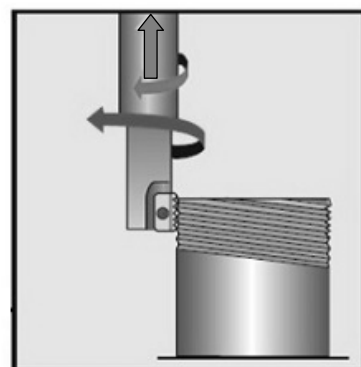
Вътрешна дясна резба
Фрезование по часовниковата стрелка
Подаване срещу часовниковата стрелка



Вътрешна дясна резба
Фрезование по часовниковата стрелка
Подаване по часовниковата стрелка



Външна дясна резба
Фрезование по часовниковата стрелка
Подаване по часовниковата стрелка



Външна дясна резба
Фрезование по часовниковата стрелка
Подаване срещу часовниковата стрелка

Фиг. 6.17. Схеми на резбофрезование [89]

При избор на метод за резбонарязване трябва да се имат предвид следните **предимства на резбофрезването** в сравнение с нарязването на резба с метчик (Таблица 6.2) [88, 89]:

✓ *По-малка номенклатура на резбонарязващите инструменти*

С една и съща резбонарязваща фреза се обработват резби с различен диаметър, но със стъпка и тип, съответстващи на тези на фрезата. При използване на фрези със сменяеми пластини в едно тяло могат да се монтират пластини с различна стъпка и профил на резбата, като една и съща пластина е подходяща както за леви, така и за десни резби. Когато резбата се обработва с метчик, е необходим различен инструмент за всеки размер на отвора и тип на резбата. Специален метчик е необходим и в случаите, когато трябва да се обработи вътрешна резба със стандартен профил, но с други параметри (например допуск), различни от стандартните. Резбонарязващата фреза чрез коригиране на диаметъра на инструмента и промяна на броя на проходите може да обработва резби с даден профил на резбата и различна точност.

✓ *По-малък брой режещи и спомагателни инструменти, необходими за обработване на детайлите – това води до намаляване на броя на гнездата за инструменти в инструменталния магазин, както и на разходите за закупуване на инструменти.*

✓ *Възможност за лесно отстраняване на счупения инструмент от детайла*

При счупване на инструмента в процеса на резбофрезозване отломките просто ще паднат в отвора и могат лесно да бъдат отстранени. Това осигурява максимална безопасност при производството, възможност за бърза смяна на инструмента, по-малко престои на машината и по-високо качество на обработените повърхнини. Когато се използва метчик, фрагментите на счупения инструмент, заседнали в отвора, трябва да бъдат развити или срязани. В тази връзка резбофрезозването е правилният избор за нарязване на резби в труднообработваеми материали и първи избор при обработване на скъпо струващи детайли (явява се завършващ етап на обработването).

✓ *Добро стружкоотвеждане*

Доброто стружкоотвеждане се обяснява с това, че фрезозването е прекъснато рязане. Освен това при резбофрезозване се използва инструмент с диаметър по-малък от диаметъра на резбата, което също улеснява стружкоотвеждането. При нарязване на резба с метчик инструментът е със същия диаметър като резбата, в резултат на което стружките се отвеждат през резбата.

✓ *Малки сили на рязане*

Малките сили на рязане създават възможности за нарязване на едри резби на недостатъчно мощно оборудване, както и за обработване на резби в тънкостенни детайли и при голяма конзолност.

✓ *Възможност за обработване на широка гама от материали с различни физико-механични свойства*

При използване на стандартни метчици възникват проблеми при рязане на материали с твърдост над 30 HRC или на материали с твърди включения. В тези случаи метчиците се счупват или износват бързо. Проблемът се решава с използване на специални метчици, но това води до увеличаване на разходите за обработване. С резбонарязващи фрези могат да се обработват резби в труднообработваеми материали (например никелови сплави). Тези инструменти работят добре и при рязане на гума, която може да се компресира около метчика. Това не може да се случи при резбофрезозване, т.к. инструментът няма пълен контакт с детайла.

✓ *Не се изисква прилагане на СОТ*

Препоръчва се резбофрезозването да се реализира без СОТ, за да не се появят термични дефекти. Прилагането на СОТ се допуска при окончателно обработване на неръждаващи стомани, алуминий, огнеупорни сплави или чугуни, за да се намали вредното въздействие на отделяния прах. За да се подобри процеса на стружкоотвеждане, се препоръчва използването на сгъстен въздух.

✓ *Високо качество на резбата*

Резбофрезозването осигурява по-висока точност и по-малка грапавост на обработените повърхнини в сравнение с нарязването на резба с метчик.

✓ *Възможност за нарязване на резба напълно до дъното на глух отвор (при вътрешна резба), както и до края на стъпална повърхнина (при външна резба), без да е необходим канал за изход на инструмента*

✓ *Минимално износване на вретеното*

При нарязване на резба с метчик вретеното на машината сменя посоката си на въртене два пъти в един цикъл на обработване. При обработване на голям брой отвори, особено при висока производителност, това може да доведе до преждевременно износване на елементите на вретеното. Според някои от най-големите фирми, произвеждащи автомобили, шпинделните агрегати на обработващите центри, върху които се изпълняват операции по нарязване на резби в трисменен режим, се налага да се сменят с честота от 18 месеца [89]. Изходът е използването на резбонарязващи фрези, обработването с които не изисква реверс на вретеното.

✓ *По-голяма трайност на инструментите*

Резбонарязващите твърдославни фрези имат голяма трайност дори при обработване на труднообработваеми материали, като никеловите сплави. При обработване на тези материали възникват големи сили на рязане и метчиците често се чупят. При работа с фрези със сменяеми пластини, ако пластината се повреди, няма нужда да се купува нова фреза, а се сменя само пластината, което е икономически изгодно.

✓ *Не са необходими компенсиращи спомагателни инструменти, както при използване на метчици*

✓ *Винаги е възможно да се коригира траекторията на резбонарязващата фреза, ако инструментът се износи или резбовият калибър пробка не преминава през резбовия отвор*

Направената сравнителна характеристика на процесите резбофрезозване и нарязване на резба с метчик (Таблица 6.2) показва, че резбофрезозването е универсално решение за изработване на резби в детайли от различни материали - могат да се нарязват външни и вътрешни, леви и десни резби, резби в отвори с големи диаметри и в дълбоки отвори, както и специални резби и резби с висока точност. Резбонарязващите фрези позволяват да се обработват резби на фрезови машини с ЦПУ при едно установяване на детайла, което значително опростява и съкращава технологичния процес. При механично обработване на една установка резбонарязващите фрези осигуряват висока точност по отношение на перпендикулярност и съосност на резбата спрямо други повърхнини на детайла.

Резбофрезозването се избира, когато: обработвания детайл има асиметрична форма или не може да бъде установен върху стругова машина (например голямогабаритни корпусни детайли); съществуват проблеми с раздробяването и отвеждането на стружките; резбата се нарязва в труднообработваеми материали, при което възникват големи сили на рязане; резбата трябва да се обработи до дъното на отвора (при вътрешни резби) или до края на стъпална повърхнина (при външни резби); резбата се нарязва в тънкостенни детайли; детайлът е закрепен недостатъчно стабилно; трябва да се намали номенклатурата на инструментите; съществува риск от счупване на инструмента по време на рязане; допускът на резбата трябва да се коригира; трябва да се обработят множество нестандартни размери резби с един инструмент.

Таблица 6.2. Сравнително характеристика на процесите резбофрезозване и нарязване на резба с метчик [88, 89]

Обработване с резбонарязващи фрези		Обработване с метчици	
Предимства	Недостатъци	Предимства	Недостатъци
Минимално време за обработка и икономия на енергия	Висока цена на инструмента	Ниска цена на инструмента	Малки стойности на елементите на режима на рязане
Възможност за нарязване на резби с различен диаметър с една фреза (при съвпадане на стъпката на резбата)			Отделен метчик за всеки диаметър на резбата
Възможност за нарязване с една фреза на външна и вътрешна резба			Нарязване само на вътрешни резби
С един инструмент се нарязва лява и дясна резба			Различни метчици за дясна и лява резба
По-голяма трайност на инструмента (инструменталният материал е твърда сплав)			Малка трайност (инструменталният материал е бързорежеща стомана)
Пълно нарязване на резбата в глухи отвори			Непълна резба в глухи отвори
При счупване на инструмента детайлът не се бракува (лесно се отстраняват парчетата)			Бракуване на детайла при счупване на метчика
Минимално износване на вретеното			Повишено износване на вретеното поради честата промяна на посоката на въртене
Използване на цангови патронници			Необходими са специални патронници с осова компенсация и предпазна вложка
Обработване на различни материали, включително и на труднообработваеми материали			Ограничени по вид и физико-механични свойства обработвани материали
Използване на едно тяло за монтиране на пластини с различна стъпка и профил на резбата			
По-високо качество на резбата, липсват заусенъци			
Възможност да се нарежат максимално количество навивки на много малко разстояние при обработване на малки глухи отвори в тънкостенни детайли			
Обработване с инструмент с размери, по-малки от тези на резбата, което позволява резбата да се обработи с хлабина, необходима за отвеждане на стружките			
Възможно да се реализира и върху стругове с въртящи инструменти			

7.1. ТЕХНОЛОГИЧНИ ВЪЗМОЖНОСТИ

Шлифоването е процес на рязане с абразивен инструмент, предназначен за окончателно обработване на равнинни, ротационни (външни и вътрешни) и сложни профилни повърхнини. При шлифване се постига висока точност ($7 \div 6$ степен) и грапавост $Ra = 0,63 \div 0,08 \mu m$ [1, 48].

Снемането на слой материал при шлифване се осъществява от голямо количество остри абразивни зърна, въздействащи върху обработваната повърхнина. Процесът на рязане се различава съществено от процесите на рязане с режещи инструменти с дефинирана режеща част. Това е свързано с особеностите на абразивния инструмент, както и с формата, размерите и особеностите на абразивните зърна.

Абразивните инструменти са инструменти с недефинирана режеща част. Работната им повърхнина се състои от абразивни зърна, свързка, пълнител и пори, поради което *липсва непрекъснат режещ ръб по нейната образуваща*. Режещите ръбове на хаотично разположените по повърхнината на инструмента зърна нямат еднаква височина. Най-изпъкналите зърна участват в процеса на шлифване (тяхното количество се определя от стойността на напречното подаване), част от зърната в зоната на рязане не участват в рязането, тъй като попадат във вече срязани участъци, други не режат, а само упражняват натиск върху обработваната повърхнина.

Формата на абразивните зърна е разнообразна, като най-често представлява *неправилен многостен със заоблени върхове, което осигурява отрицателни предни ъгли на рязане на зърната*. Това определя увеличената динамична якост на абразивните зърна, а следователно и износването и трайността на абразивния инструмент. Съществено е влиянието на радиусите на закръгление ρ_n на режещите ръбове на абразивните зърна, тъй като те често са съизмерими с дебелината на стружката, срязвана от отделното зърно ($\rho_n = 8 \div 20 \mu m$). По повърхнините на абразивните зърна има микронеравности, изпълняващи ролята на спомагателни режещи елементи. Те снемат стружки, които са $10 \div 100$ пъти по-малки от тези, срязвани от основните режещи елементи.

Процесът на рязане при шлифване се съпровожда с еластични и пластични деформации, както и със значително триене на зърната и свързката с материала. Процесът на микрорязане започва при съотношение между дебелината на стружката h_z и радиуса ρ_n на закръгление на режещия ръб $K = h_z / \rho_n > 0,5$. При $K < 0,5$ се наблюдава само пластично изтласкване на материала, а при $K \leq 0,01$ - еластично деформиране, т.е. триене на абразивното зърно в повърхнината на обработвания детайл без снемане на стружки. При диамантено шлифване стружкообразуване се наблюдава при $h_z = 1,5 \mu m$ ($K = 0,5$), докато при шлифване с дискове от кубичен борен нитрид и при абразивно шлифване това става при стойности на h_z съответно $2,7 \mu m$ и $7 \mu m$ [56].

В зависимост от вида на обработваната повърхнина технологичните схеми на шлифване са:

- ✓ *кръгло шлифване* - обработване на външни и вътрешни ротационни повърхнини;
- ✓ *плоско шлифване* - обработване на равнинни повърхнини;
- ✓ *профилно шлифване* - обработване на сложни повърхнини.

Главното работно движение при всички видове шлифване е въртеливото движение на абразивния инструмент (шлифовъчния диск), което осигурява скоростта на рязане V_c (определя се по зависимост (1.5) - $V_c = 10^{-3} 60^{-1} \pi D n$, m/s).

Подавателните движения са относителните премествания на абразивния инструмент и обработвания детайл. Те могат да бъдат въртеливи или праволинейни, като броят им зависи от вида и начина на шлифване.

7.1.1. Кръгло шлифване

Към процеса кръгло шлифване се отнася обработването на ротационни повърхнини - външни и вътрешни цилиндрични, конусни и профилни, гладки и степенчати.

А. Външно кръгло шлифване

Външното кръгло шлифване се извършва с *надлъжно (осово) подаване*, с *врязващо подаване* и *безцентрово* (Фиг. 7.1 а÷е, Фиг. 7.2 а,в,г). Обработваният детайл се установява между центри или в патронник (Фиг. 7.1 а÷е), или се поставя свободно в зоната на обработване (Фиг. 7.2 а,в,г).

Външно кръгло шлифване с надлъжно подаване (Фиг. 7.1 а) се прилага за обработване на детайли с голяма дължина, като при обработване на конусни повърхнини обработвания детайл се завърта на ъгъл, равен на половината от ъгъла на конуса. За осъществяването му, освен главното въртеливо движение на шлифовъчния диск със скорост $V_c = 20 \div 80 \text{ m/s}$, се извършват следните подавателни движения:

- *кръгово* - въртеливо движение на обработвания детайл около оста със скорост V :

$$V = 10^{-3} \pi d n_w, \text{ m/min}, \quad (7.1)$$

където: d - диаметър на обработвания детайл, mm ; n_w - честота на въртене на обработвания детайл, min^{-1} ;

- *надлъжно* – праволинейно възвратно-постъпателно движение на обработвания детайл или инструмента със скорост V_f :

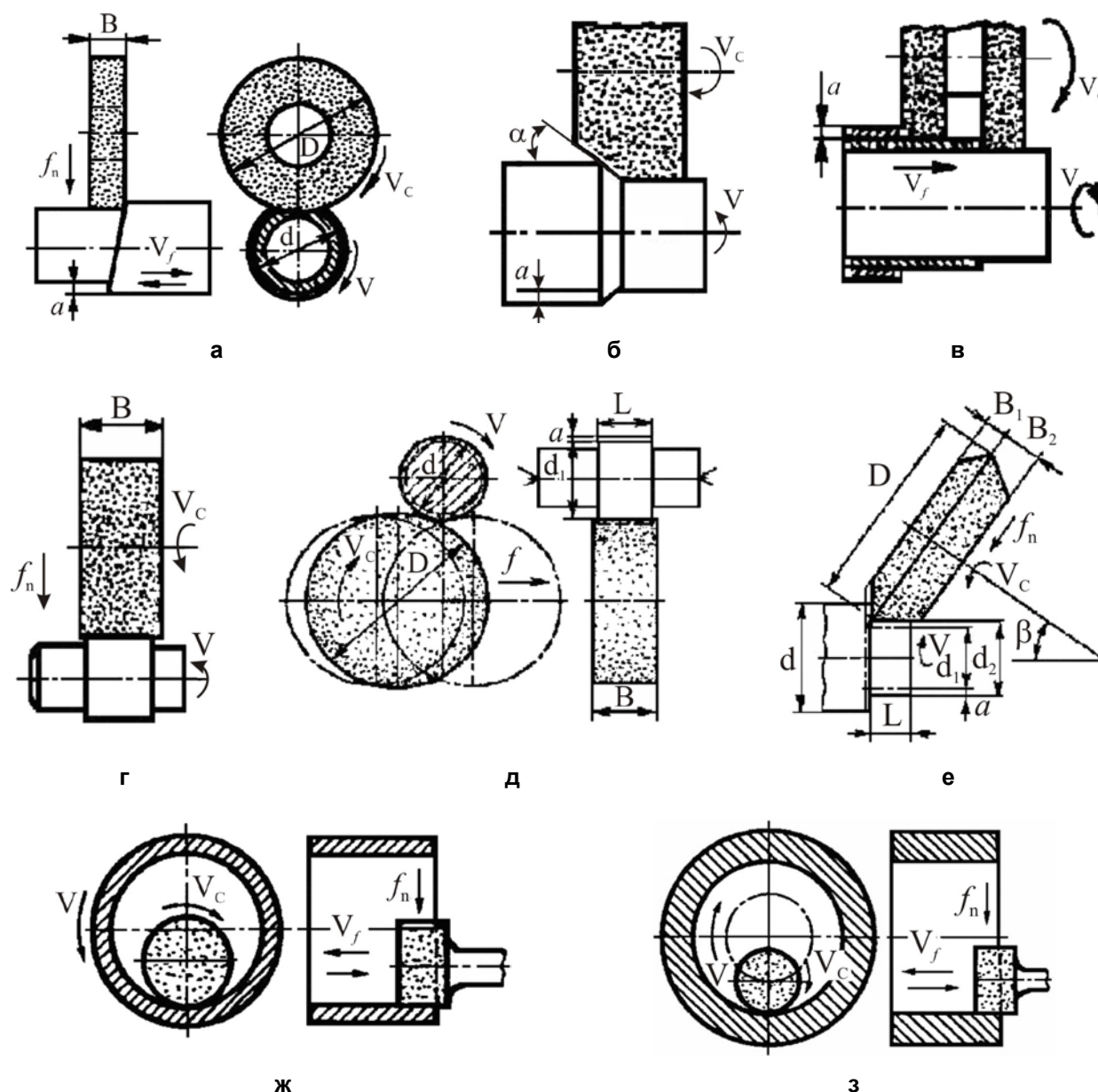
$$V_f = 10^{-3} f n_w, \text{ m/min}, \quad (7.2)$$

където: f , mm/rev - надлъжно подаване, големината на което зависи от широчината на шлифовъчния диск (B , mm) и вида на обработката - $f = c.B$ (c - коефициент на припокриване: $c = 0,3 \div 0,85$ - при грубо шлифване; $c = 0,2 \div 0,3$ - при чисто шлифване) [1, 56]; с неравенството $f < B$ се гарантира получаване на непрекъсната шлифвана повърхнина;

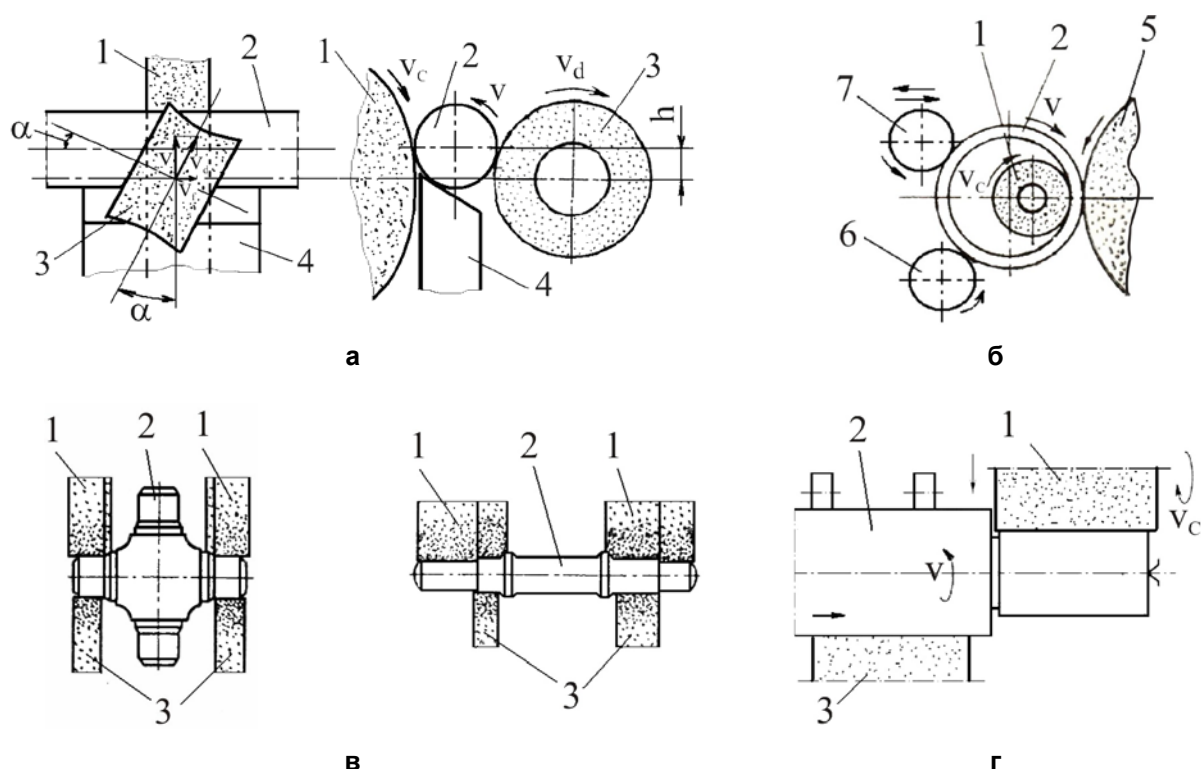
- *напречно* – преместване на инструмента или обработвания детайл с големина f_n за задаване на дълбочината на рязане a в направление, нормално на оста на детайла; f_n се задава за двоен или един ход на обработвания детайл или инструмента в зависимост от вида на обработката [1, 56]:

- ✓ при грубо шлифоване - $f_n = a = 0,01 \div 0,07 \text{ mm/дв.ход}$;
- ✓ при чисто шлифоване - $f_n = a = 0,005 \div 0,02 \text{ mm/дв.ход}$.

Шлифоването протича при много големи скорости на рязане и при снемане на стружки с много малки (микроскопични) сечения. Най-често е многопроходно, което способства за отстраняване на грешките във формата и за повишаване на точността на размерите на обработените повърхнини.



Фиг. 7.1. Схеми на външно и вътрешно кръгло центрово шлифоване



Фиг. 7.2. Схеми на външно и вътрешно кръгло безцентрово шлифване

1 - шлифовъчен диск; 2 – обработван детайл; 3 - водещ диск; 4 - опорен нож; 5 - водеща ролка;
6 - опорна ролка; 7 - притискаща ролка

Броят на ходовете при шлифване (i) се определя в зависимост от големината на прибавката Z и дълбочината на рязане a :

$$i = \frac{Z}{a} + i_z, \quad (7.3)$$

където i_z е броят на ходовете за отискряне, необходими за окончателното зачистване на обработената повърхнина (извършват се без напречно подаване, за да се осигури висока точност и малка грапавост на шлифованата повърхнина).

Износването на абразивния диск при шлифване с надлъжно подаване е неравномерно - по-голямо е в челния ръб на инструмента, който се закръглява.

Дълбочинно шлифване (Фиг. 7.1 б) се прилага при обработване на къси и стабилни детайли. При него цялата прибавка се сменя за един ход ($Z = a \leq 0,4 \text{ mm}$) при намалена скорост на надлъжното подаване ($f = 1 \div 6 \text{ mm/rev}$) [1, 56]. То е много по-производително от многопроходното шлифване, но не осигурява такава висока точност на обработените повърхнини.

Дълбочинното шлифване всъщност е надлъжно шлифване с предварително установен на цялата дълбочина шлифовъчен диск и нулево напречно подаване ($f_n = 0$). За реализирането му шлифовъчният диск се заточва с конусообразна или стъпаловидна работна част. Основната част от работата за рязане се извършва от скосената част на диска, а цилиндричната част на инструмента зачиства обработваната повърхнина. Това осигурява по-равномерно износване на абразивния инструмент.

Разновидност на дълбочинното шлифование се явява обработването едновременно с два шлифовъчни диска (Фиг. 7.1 в).

Външно кръгло шлифование чрез врязване (врезно шлифование) (Фиг. 7.1 з, д, е) се използва при обработване на цилиндрични или ротационни профилни повърхнини, чиято дължина L е по-малка или равна на широчината B на шлифовъчния диск. Главното и кръговото подавателно движение са както при външно кръгло шлифование с надлъжно подаване, като надлъжното подаване е нула ($f = 0$). Може да се реализира по три схеми - с *напречно (радиално) подаване, с тангенциално подаване и с подаване под ъгъл*.

При **външно кръгло шлифование с напречно подаване** абразивният диск се движи с постоянна скорост в радиално направление (Фиг. 7.1 з). Големината на напречното подаване е $f_n = 0,002 \div 0,005 \text{ mm/rev}$ ($f_n = 0,8 \div 3 \text{ mm/min}$) [1, 56]. Дълбочината на рязане е равна на дължината на шлифваната повърхнина ($a = L$). Методът се характеризира с висока производителност и равномерно износване на шлифовъчния диск. Точността на обработката в голяма степен зависи от геометричната точност на абразивния инструмент, което налага по-честото му изправяне, отколкото при шлифование с надлъжно подаване. Схемата е приложима и при шлифование на дълги стабилни детайли. Шлифването се извършва чрез последователни врязвания на шлифовъчен диск с малка широчина ($B \ll L$), като отделните участъци взаимно се застъпват.

Основно предимство на **врезното шлифование с тангенциално подаване** (Фиг. 7.1 д) е, че в края на обработката обемът на снемания материал се намалява и в момента на съвпадане на осите на обработвания детайл и шлифовъчния диск протича заглаждане. Схемата позволява шлифовъчното седло да се разположи по-ниско на машината, да се увеличи стабилността на системата МПВД и да се облекчи автоматизацията на шлифовъчния процес.

Врезно шлифование с подаване под ъгъл (Фиг. 7.1 е) се прилага за едновременно обработване на две или повече свързани повърхнини, в това число и профилни повърхнини (например при шлифование на детайли от типа на стъпални валове с малка дължина - $L < \frac{B_2}{\cos \beta}$, и с неголяма разлика в диамет-

ралните размери - $\frac{d - d_1}{2} < \frac{B_1}{\sin \beta}$).

За повишаване на точността и намаляване на грапавостта на обработената повърхнина при врезно шлифование, както и за по-равномерно износване на абразивния инструмент, на шлифовъчния диск се придава осцилиращо движение по оста на обработвания детайл с амплитуда $3 \div 5 \text{ mm}$. При вибрационно шлифование подобреното качество се съчетава с по-висока производителност. Ултразвуковите колебания, получени от специална акустична глава, създават условия всяко абразивно зърно от работната повърхнина на шлифовъчния диск да се движи по синусоида, т.е. да изминава повече път и да сменя повече материал.

За повишаване на производителността и намаляване на грапавостта на

обработената повърхнина се прилага комбиниран начин на шлифование – по-голяма част от прибавката се сменя чрез дълбочинно шлифование, врезно шлифование или шлифование с последователни врязвания, след което останалата част се отнема с един или няколко надлъжни хода.

Външно кръгло безцентрово шлифование (Фиг. 7.2 а,в,г) се извършва по три начина: *надлъжно; врезно - с напречно подаване по цялата повърхнина на детайла; до упор – с надлъжно подаване до упор и напречно подаване с широчината на диска.*

При **безцентрово шлифование с надлъжно подаване** (Фиг. 7.2 а) обработвания детайл не се закрепва между центри или в патронник, а се базира по обработваната или по обработената повърхнина. Той се поддържа от опорен нож и се върти между два абразивни диска – работен (шлифовъчен) и водещ. *Работният диск осъществява процеса на рязане, а водещият диск обезпечава въртеливото, а в определени случаи и подавателното движение на детайла.* Оста на детайла се установява на разстояние $h = (0,1 \div 0,3)d$ спрямо оста на шлифовъчния диск, като малките стойности се избират при обработване на детайли с малък диаметър. Двата абразивни диска се въртят в една посока с различни периферни скорости: скоростта на шлифовъчния диск е $V_c = 30 \div 35 \text{ m/s}$, а на водещия - $60 \div 100$ пъти по-ниска ($V_d = 15 \div 30 \text{ m/min}$). В резултат на различните скорости силата на триене между обработвания детайл и водещия диск е по-голяма от силата на рязане, което обезпечава въртеливото движение на детайла. За увеличаване на силата на триене водещият диск се изработва със зърнистост $120 \div 150$, твърдост $R \div T$ и вулканитова свързка.

При **безцентрово шлифование с надлъжно подаване** преместването на обработвания детайл се получава от водещия диск чрез завъртането му на известен ъгъл $\alpha = 1 \div 6^\circ$ спрямо оста на шлифовъчния диск или чрез наклоняване на опорния нож на същия ъгъл. Скоростта на въртене на детайла V и скоростта на подавателното движение V_f се определят от следните зависимости:

$$V = V_d \cdot \cos \alpha, \text{ m/min}; \quad (7.4)$$

$$V_f = k \cdot V_d \cdot \sin \alpha, \text{ m/min}, \quad (7.5)$$

където k - коефициент, отчитащ приплъзването в зоната на контакт на водещия диск и обработвания детайл - $k = 0,95 \div 0,99$.

Въртенето на детайла се забавя от силата на триене между него, шлифовъчния диск и опорния нож, поради което той се върти и движи в надлъжно направление с известно приплъзване спрямо водещия диск. Това приплъзване може да се намали чрез увеличаване на силата на притискане между обработвания детайл и водещия диск, увеличаване на ъгъла на скосяване на ножа до 30° , повишаване на дълбочината на рязане или чрез допълнително притискане на детайла с ролка. С тази цел се придава и хиперболична форма на водещия диск по образуващата му при заточване.

Ъгъл α оказва влияние върху производителността и качеството на шлифваната повърхнина. С нарастване на α се увеличава скоростта на

подавателното движение V_f , което води до съответно повишаване на производителността и влошаване на качеството на обработената повърхнина. Затова при предварително шлифование $\alpha = 3 \div 5^\circ$, а при окончателно - $\alpha = 1 \div 2^\circ$.

Надлъжно безцентрово шлифование се прилага за обработване на гладки цилиндрични детайли с различна дължина. При шлифование на къси детайли, чиято дължина е значително по-малка от широчината на диска, те трябва да се подават непрекъснато и плътно, без разстояние помежду им, за да бъдат като един детайл в зоната на рязане.

При надлъжно безцентрово шлифование може да се работи с дискове с голяма широчина (до 800 mm), което осигурява висока производителност, почти пропорционална на увеличената широчина.

Врезното безцентрово шлифование се извършва чрез напречно подаване на шлифовъчния или водещия диск, които са с успоредни оси (Фиг. 7.2 в). *Прилага се за шлифование на детайли с различна форма и широчина, по-малка или равна на широчината на шлифовъчния диск.* Работната повърхнина на диска се профилира в съответствие с исканата форма на детайла. Първоначално по-голяма част от прибавката се сменя с висока скорост, след това скоростта се намалява и накрая шлифованата повърхнина се заглажда без подаване (отискряне).

При *безцентрово шлифование до упор* обработваният детайл получава надлъжно преместване до момента на контакт с упора, след което механично напуска зоната на рязане (Фиг. 7.2 г). Прилага се за шлифование на детайли с променливи диаметри (конусни, винтове с глави и др.).

Основните предимства на безцентровото шлифование в сравнение с центровото шлифование са:

- ✓ възможност за шлифование на детайли с малък диаметър и голяма дължина, както и на детайли без центрови отвори;
- ✓ висока производителност поради възможност за работа с големи подавания, липса на центроване и закрепване на детайла;
- ✓ възможност за шлифование с по-големи сили на рязане поради по-голямата стабилност на машините;
- ✓ простота на обслужване на машините (не изисква висококвалифицирани работници);
- ✓ два пъти по-малка стойност на грешките, получени от неточности в поведението на диска или от неговото износване.

Б. Вътрешно кръгло шлифование

Вътрешно кръгло шлифование (Фиг. 7.1 ж,з, Фиг. 7.2 б) се прилага за обработване на светли и глухи цилиндрични и конусни отвори на различни детайли. При този вид шлифование абразивният диск е разположен в отвора на обработвания детайл, при което той и дискът извършват въртливо движение около осите си. В зависимост от начина, по който се реализира, вътрешното шлифование бива *надлъжно (осово)*, *напречно (врезно)*, *планетно* и *безцентрово*. При всички схеми шлифовъчният диск и обработваният детайл се въртят в противоположни посоки, като скоростта на шлифовъчния диск е много по-

голяма от скоростта на въртене на детайла ($V_c \gg V$).

Вътрешно кръгло шлифоване с надлъжно подаване (Фиг. 7.1 ж) се извършва със следните движения:

- главно въртеливо движение на шлифовъчния диск със скорост V_c ;
- кръгово подавателно движение на обработвания детайл със скорост V ;
- надлъжно подавателно движение, извършвано от инструмента или обработвания детайл със скорост V_f ; максималната стойност на скоростта на подавателното движение е $V_f = 0,75B$ (B - широчина на диска);

- напречно подавателно движение, извършвано от инструмента (постоянно или периодично) за всеки единичен или двоен ход на детайла (f_n).

Кинематичната схема на **вътрешното врезно шлифоване** е сходна с тази при външно кръгло шлифоване. Шлифовъчният диск освен въртеливо извършва и напречно подавателно движение в направление, перпендикулярно на обработваната повърхнина. При възможност на инструмента се придава осцилиращо движение, с което се осигурява равномерното му износване и се подобрява качеството на обработената повърхнина. **Врезно шлифоване се прилага при обработване на къси отвори и на вътрешни цилиндрични повърхнини с точни чела или прагове** (например при обработване на ролковите пътища на лагерни гривни).

Планетно шлифоване се прилага за обработване на отвори в голямогабаритни и тежки детайли, чието въртеливо движение е трудно осъществимо. При тази схема (Фиг. 7.1 з) обработваният детайл се закрепва неподвижно върху масата на машината, а шлифовъчния диск извършва четири движения [1, 56]:

- главно въртеливо около оста си със скорост V_c до 35 m/s ;
- планетно, около оста на отвора със скорост $V = 40 \div 60 \text{ m/min}$;
- надлъжно подавателно със скорост V_f ;
- напречно подавателно за снемане на прибавката, осъществявано след всеки двоен ход ($f_n = 0,008 \div 0,02 \text{ mm/дв.ход}$).

Вътрешното кръгло шлифоване се извършва при по-неблагоприятни условия в сравнение с външното поради следните особености:

- ✓ понижена стабилност на вретеното, което е с малък диаметър и сравнително голяма дължина;
- ✓ диаметърът D на шлифовъчния диск е по-малък от диаметъра D_o на обработвания отвор - $D = (0,25 \div 0,75)D_o$;
- ✓ дължината на контактната дъга между инструмента и обработвания детайл е по-голяма, което води до по-голям брой едновременно работещи абразивни зърна, както и до по-голямо натоварване на абразивните зърна и инструмента;
- ✓ влошени условия за охлаждане в зоната на рязане.

Поради тези причини стойностите на елементите на режима на рязане при вътрешно шлифоване се избират по-малки в сравнение с тези при външно шлифоване (≈ 2 пъти).

Вътрешното безцентрово шлифване се различава по начина на закрепване на обработвания детайл, което може да се извърши по два начина: с три ролки и на неподвижни опори.

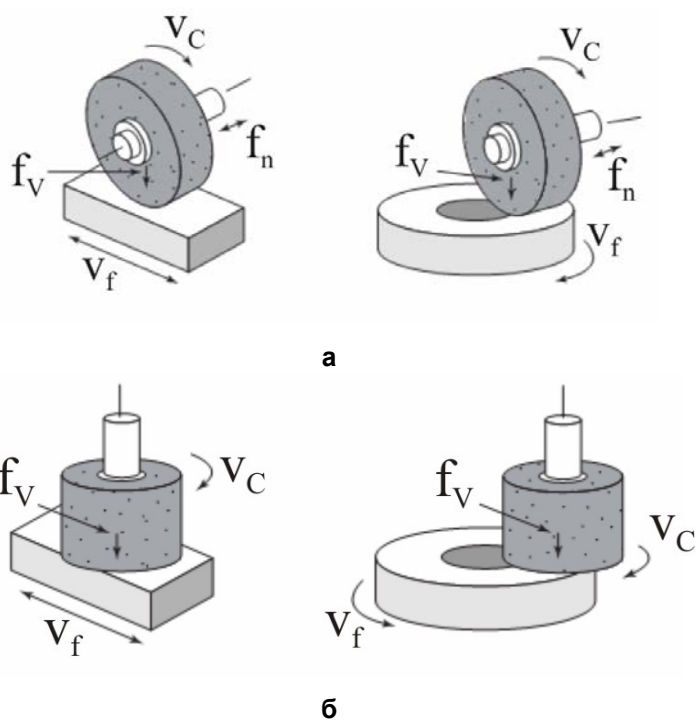
На Фиг. 7.2 б е показана схема на вътрешно безцентрово шлифване на детайл, установен между три ролки. Водещата ролка 5 се върти в посока, обратна на въртенето на шлифовъчния диск, и посредством триене придава въртливо движение на обработвания детайл 2, който от своя страна върти опорната ролка 6 и притискащата ролка 7. За притискане на детайла в осово направление водещата ролка може да се завърта вертикално около оста си. За освобождаване на детайла притискащата ролка се измества вертикално. В осово направление обработваният детайл се фиксира с опорна планка или втулка, която се върти заедно с него.

Методът на вътрешно безцентрово шлифване е подходящ за детайли със строга концентричност между външната и вътрешната повърхнина, както и за шлифване на тънкостенни детайли без деформация поради аксиалното им, а не радиалното им закрепване в патронник. Прилагането му повишава точността на обработката, благодарение на отсъствието на допълнително затягащо приспособление, и създава предпоставки за автоматизация на процеса шлифване.

7.1.2. Плоско шлифване

В зависимост от работната повърхнина на шлифовъчния диск плоското шлифване се извършва по две схеми: с периферията и с челото на диска (Фиг. 7.3). То се характеризира със следните движения:

- главно въртливо движение на абразивния инструмент със скорост V_c ;
- надлъжно, възвратно-постъпателно или кръгово подавателно движение със скорост V_f – най-голямото



Фиг. 7.3. Схеми на плоско шлифване

по стойност относително преместване на детайла и шлифовъчния диск, успоредно на обработваната повърхнина;

- периодично напречно (осово) преместване на инструмента или детайла (f_n) в направление, перпендикулярно на основното подавателно движение, успоредно на оста на диска и на обработваната повърхнина;

- периодично вертикално преместване на обработвания детайл или на инструмента (f_v) в посока, перпендикулярна на шлифованата повърхнина - подаване на дълбочина.

А. Плоско шлифование с периферията на шлифовъчния диск.

Плоското шлифование с периферията на шлифовъчния диск (Фиг. 7.3 а) може да се реализира *без и с напречно подаване*. Прилага се за изработване на *детайли с високи изисквания за равнинност* (контролни плочи, линии, допирни повърхнини), *детайли с бордове, тънки детайли, подлежащи на изкривяване, детайли с нестабилна опорна повърхнина, профилни детайли* (профилни ножове, резбови гребени, шаблони и др.). Поради по-малката контактна повърхнина на шлифование, отколкото при обработване с челото на диска, силите на рязане и топлоотделянето са по-малки.

Шлифование без напречно подаване се прилага при обработване на *детайли с широчина, по-малка от тази на шлифовъчния диск, или на повърхнини, ограничени с борд*. Подаването на дълбочина f_v става на всеки надлъжен ход на масата на машината. Методът се характеризира с голямо износване и сравнително неголяма точност на абразивния инструмент.

Шлифование с напречно подаване (врезно шлифование) се реализира по три начина:

- *С голямо подаване на дълбочина f_v и малко напречно подаване f_n* – прилага се при обработване на *стабилни детайли и когато е допустима голяма грапавост на повърхнините*. Шлифовъчният диск се износва под конус, тъй като основна част от рязането се извършва от абразивните зърна около челния му ръб.

- *С малко подаване на дълбочина ($f_v = 0,005 \div 0,05 \text{ mm/ход}$) и голямо напречно подаване ($f_n = (0,5 \div 8)B, \text{ mm/ход}$; B – широчина на диска) – намира приложение при шлифование на детайли с малка дебелина*. Ако се използват шлифовъчни дискове с голяма широчина, може да се увеличи напречното подаване, а следователно и производителността на процеса шлифование.

- *Кръстосано шлифование* – *получават се изделия с голяма равнинност* в резултат на по-равномерното загряване на обработваната повърхнина и намалените топлинни деформации.

Б. Плоско шлифование с челото на шлифовъчния диск (Фиг. 7.3 б)

Тази схема е подходяща за обработване на *прекъснати повърхнини, както и за снемане на големи прибавки*. В сравнение с плоското шлифование с периферията на диска, тя осигурява по-висока производителност поради по-голямата контактна повърхнина на обработване, а при *фино шлифование* - и малка грапавост на обработената повърхнина.

За подобряване на условията на рязане при плоско шлифование с челото на диска и намаляване на топлоотделянето е целесъобразно използването на *намалена контактна зона, обилно охлаждане, по-твърди и едрозърнести абразивни инструменти, както и на сегментни инструменти*.

Намаляване на контактната зона се постига чрез *наклоняване на оста на абразивния диск или заточване на челото на инструмента под ъгъл*. При шлифование с наклонен диск се получава *лъчист шлиф*, а обработената повърхнина е *слабо вдлъбната*. Намира приложение при шлифование на *направляващи*, тъй като се създават условия за задържане на маслен слой и

намаляване на износването на направляващите.

Използването на сегментни абразивни дискове или сегментни глави дава възможност за високопроизводително снемане на големи прибавки при малки разходи и получаване на повърхнини с голяма точност и малка грапавост.

Плоското шлифование с челото на диска може да се извърши *за един ход* или *многоходово*.

Едноходово (дълбочинно) шлифование се извършва върху машини с кръгла маса. Абразивният инструмент се подава на пълната дълбочина и обработката се извършва за един оборот на масата, която се движи с малка скорост ($V_f = 3 \div 5 \text{ m/min}$). Могат да се използват няколко шлифовъчни глави, поставени концентрично спрямо оста на въртящата се маса, като тяхното степенуване по характеристика и стойност на вертикалното подаване дава възможност за интензифициране на процеса и увеличаване на точността.

При **многоходовото шлифование** обработваният детайл, закрепен върху масата на машината, преминава няколко пъти през шлифовъчния диск, докато се снее цялата прибавка. Масата на машината най-често е правоъгълна. Обработваният детайл се движи с относително ниска скорост - $V_f \leq 30 \text{ m/min}$. Тази схема се прилага за снемане на големи прибавки, както и за обработване на закалени и тънкостенни детайли.

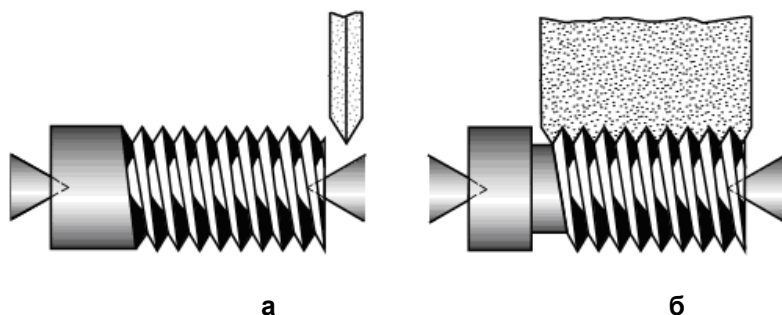
7.1.3. Профилно шлифование

Към процесите на профилно шлифование се отнасят *резбошлифването, зъбошлифването, шлифването на сфери и сложни профилни повърхнини*. Те се реализират чрез синхронизиране на подавателните движения при шлифование и създаване на шлифовъчни дискове със специална форма.

А. Резбошлифование

Шлифването на резба може да се извърши с *еднопрофилни* и *многопрофилни шлифовъчни дискове*, като се достига точност на стъпката $\pm (2 \div 3) \mu\text{m}$, по половината ъгъл на профила $\pm 30'$ и по средния диаметър на резбата $\pm (2 \div 5) \mu\text{m}$. Шлифването с многопрофилни шлифовъчни дискове осигурява $\approx 3 \div 10$ пъти по-висока производителност от тази при шлифование с еднопрофилни дискове и по-голяма трайност на абразивния инструмент, но по-ниска точност на резбата [53].

При **шлифование с еднопрофилни шлифовъчни дискове** (Фиг. 7.4 а) оста



Фиг. 7.4. Схеми на резбошлифование

на диска се наклонява спрямо оста на шлифованата резба под ъгъл, равен на ъгъла на подема на резбата. Обработването става за сметка на надлъжното подавателно движение на детайла по дължината на нарязваната резба спрямо абразивния

инструмент. Подаването на дълбочина става на всеки ход на масата на машината. Точността на изработената по този начин резба е много висока и зависи от точността на резбошлифовъчната машина и профилирането на шлифовъчния диск.

Шлифването на резби с многопрофилни шлифовъчни дискове (Фиг. 7.4 б) се извършва по две схеми:

- с напречно подаване (врязване) на абразивния диск на пълната дълбочина при едновременно надлъжно преместване на обработвания детайл на $1,3 \div 3$ стъпки на резбата ($1,3 \div 3$ оборота на обработвания детайл);

- с надлъжно подаване на шлифовъчния диск по дължина на резбата, като шлифването става на един проход.

Схемата на шлифване с напречно подаване се прилага за обработване на едно- и многоходови резби, чиято дължина е по-малка от широчината на абразивния диск, в това число и на резби с предпазен пояс. При тази схема оста на инструмента се разполага успоредно на оста на резбата или под ъгъл, равен на ъгъла на подема на резбата. При шлифване на конусни резби оста на шлифовъчния диск допълнително се установява успоредно на образуващата на конуса. При врезно шлифване на резба с многопрофилни шлифовъчни дискове с наклонена ос се получават грешки в диаметралните размери на шлифованата резба, а при шлифване с успоредни оси на шлифовъчния диск и обработвания детайл - грешки в профила на резбата.

Схемата на шлифване с надлъжно подаване се прилага за шлифване на едно- и многоходови резби с дължина, по-голяма от широчината на шлифовъчния диск. Шлифовъчният диск има конусна част, която извършва грубото и получистото шлифване, а калиброването се извършва от последните навивки, оформени върху цилиндричния участък на инструмента. Препоръчва се използването на съставни шлифовъчни дискове (състоят се от два-три диска: твърди – за предварително шлифване и меки – за окончателно).

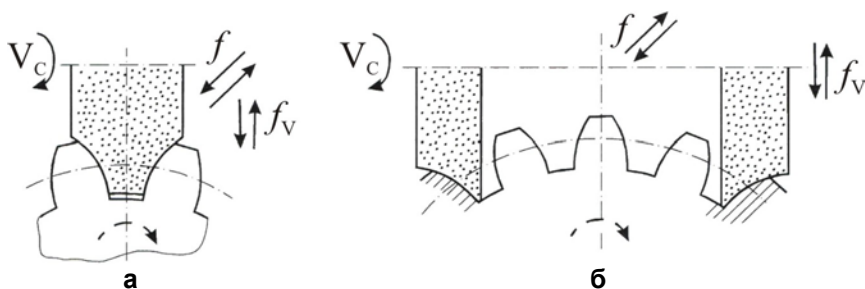
Б. Зъбошлифване

Зъбошлифването е основен метод за довършващо обработване на зъбите на зъбни колела. Извършва се по два метода – **копиране** и **обхождане**.

Зъбошлифване по метода на копиране се извършва по две схеми:

- с един абразивен диск, чийто профил съответства на профила на междузъбието (Фиг. 7.5 а);

- с два профилни диска (Фиг. 7.5 б).



Фиг. 7.5. Схеми на зъбошлифване по метода на копиране

В процеса на шлифване инструментът извършва главното въртеливо и подавателното праволинейно възвратно-постъпателно движение по дължината на образуващата на зъба.

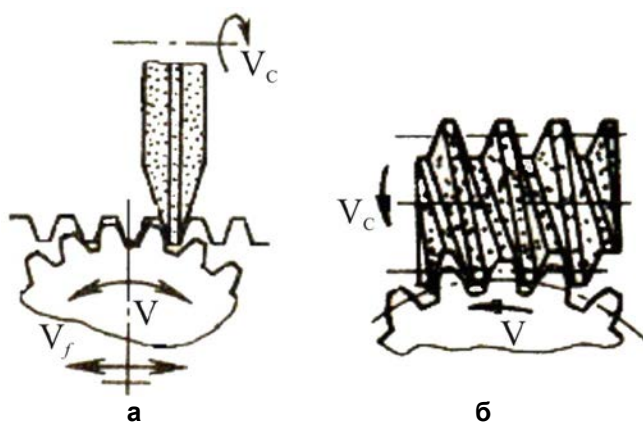
Подаването на дълбочина става периодично за всеки двоен ход на инструмента. След обработване на едно междузъбие (или две страни на два различни зъба) шлифовъчният диск и зъбното колело се отдалечават, зъбното колело се завърта на една стъпка (извършва се делително движение) и започва обработването на следващото междузъбие.

Методът се прилага за обработване на цилиндрични зъбни колела с прави зъби. Процесът е високопроизводителен, но точността на обработката е по-ниска от тази при обработване по метода на обхождане.

Зъбошлифване по метода на обхождане се извършва по три схеми:

- с един чиниевиден или специален профилен диск - метод *Нилес*;
- с два чиниевидни шлифовъчни диска, имитиращи страничните повърхнини на един зъб на зъбен гребен – метод *Мааг*;
- с абразивен червяк – метод *Райсхауер*.

При **зъбошлифване по метода Нилес** (Фиг. 7.6 а) шлифовъчният диск е с трапецовиден профил и извършва главното въртливо и подавателното



Фиг. 7.6. Схеми на зъбошлифване по метода на обхождане

възвратно-постъпателно движение по дължината на образуващата на зъба. Обработваният детайл извършва две подавателни движения – въртливо и праволинейно, съгласувани по такъв начин, че се възпроизвежда зацепване между зъбно колело и неподвижен въображаем гребен. Работната част на инструмента е по-тясна от зъба на зъбния гребен. Затова при отъркаването в едната посока се шлифова едната страна на междузъбието, а след реверсиране на подавателното движе-

ние на детайла и обирание на хлабината шлифовъчният диск се премества за шлифване на другата страна на междузъбието. След обработване на едно междузъбие детайлът се завърта за обработване на следващото междузъбие. При шлифване на винтови зъби направляващите на шлифовъчния супорт се наклоняват под ъгъл чрез установъчно движение.

При **зъбошлифване по метода Мааг** абразивните инструменти извършват главното въртливо и подавателното възвратно-постъпателно движение по дължината на образуващата на зъба. Обхождането се осъществява чрез сумиране на две движения: въртене на зъбното колело около оста му и преместване, перпендикулярно на тази ос. За един цикъл се шлифват двете страни на едно междузъбие, след което инструментите се извеждат от междузъбието и се извършва делително движение.

При **зъбошлифване по метода Райсхауер** (Фиг. 7.6 б) шлифовъчният диск извършва главното въртливо движение, съгласувано с въртливото движение на обработвания детайл, така че се имитира зацепване между червяк и зъбно колело. Инструментът извършва и подавателно движение по дължината на зъбите. Методът се характеризира с висока производителност - 4 ÷ 5 пъти

по-висока в сравнение с другите методи на обхождане. Високата периферна скорост на шлифовъчния диск и необходимостта от съгласуване на движенията налагат обработваният детайл да се върти с висока скорост. Това може да се компенсира с по-голям диаметър на шлифовъчния диск, което създава трудности при неговото балансиране.

В. Шлифование на сложни профилни повърхнини

Сложни профилни повърхнини се обработват:

- с шлифовъчни дискове със специален профил, които периодично се изправят; за повишаване на производителността, като се изхожда от възможностите на оборудването и техническите изисквания към обработената повърхнина, се предвижда максимална широчина на инструмента за осигуряване на възможно най-пълно съответствие между профила на шлифовъчния диск и обработваната повърхнина;

- чрез сложно относително движение на обработвания детайл по копир;
- чрез сложно относително движение на шлифовъчния диск

7.1.4. Лентово шлифование

Лентовото шлифование намира приложение при обработване на равнинни, външни и вътрешни цилиндрични и сложни профилни повърхнини, дълги тръби, голямогабаритни валцовани листове, при заточване на режещи инструменти, подготовка на детайли преди покритие, снемане на заусенъци. Покрива се широк спектър от технологични възможности – от интензивно металоотнемане до фино шлифование, полиране или чисто декоративна обработка.

Обработването с абразивни ленти има редица предимства в сравнение с шлифването с абразивни дискове:

- ✓ голяма размерна трайност и безопасност на шлифовъчната лента при разрушаване;
- ✓ отсъствие на необходимост от изправяне и балансиране на абразивните инструменти;
- ✓ възможност за изменение на контактната площ между инструмента и обработвания детайл в широки граници;
- ✓ бърза смяна на абразивните ленти;
- ✓ опростена кинематика и устройство на машините.

Процесът е високопроизводителен. Обработването се извършва при постоянна скорост на рязане до пълното износване на абразивния слой. В резултат на увеличената контактна площ между лентата и обработвания детайл значително се подобряват условията на абразивна обработка, което позволява да се използват нискотемпературни СОТ, да се намалят силите на рязане и мощността при шлифование, значително да се намали грапавостта на обработената повърхнина.

Същността на процеса лентово шлифование се заключава в това, че обработваната повърхнина на детайла контактува с работната повърхнина на преместващата се с постоянна скорост безкрайна абразивна лента.

Инструментът извършва въртеливо движение със скорост $V_c = 12 \div 35 \text{ m/s}$, а детайлът – подавателно движение със скорост V_f . Прибавката за обработване е $0,02 \div 3 \text{ mm}$. За притискане на лентата към обработваната повърхнина се използват ролки, твърди копири със съответна форма или еластични елементи. Натягането на лентата е $1,5 \div 7 \text{ kN/m}$ и зависи от физико-механичните свойства на обработвания материал, конфигурацията на детайла, стабилността на контактния елемент и материала на основата на лентата.

При лентово шлифование действат общите закономерности на процеса шлифование. Особеност на процеса е еластичното и пластичното деформиране на лентата, което при обработване на профилни повърхнини е неравномерно. Под действие на нормалната сила F_p определен участък от лентата (в работната зона) може да бъде подложен на натиск и да увлече шлифовъчните зърна, при което те да се отклонят в хоризонтално и вертикално направление. При излизане на лентата от контактната зона зърната заемат отново първоначалното си положение. Подобна деформация увеличава броя на ефективно режещите зърна и спомага за по-равномерно разпределение на натиска между зърната и контактната зона. Пластичната деформация улеснява износването на лентата. Опъването на лентата е особено важен фактор, който влияе върху всички показатели на процеса.

Лентовото шлифование се осъществява по различни технологични схеми (Фиг. 7.7:

- *външно шлифование или полиране с абразивни ленти* - обработването се осъществява в зоната на притискане на лентата към обработвания детайл при използване на контактни елементи - ролка, плоска плоча, диск, копир (Фиг. 7.7 а÷д) или със свободно рамо (Фиг. 7.7 е);

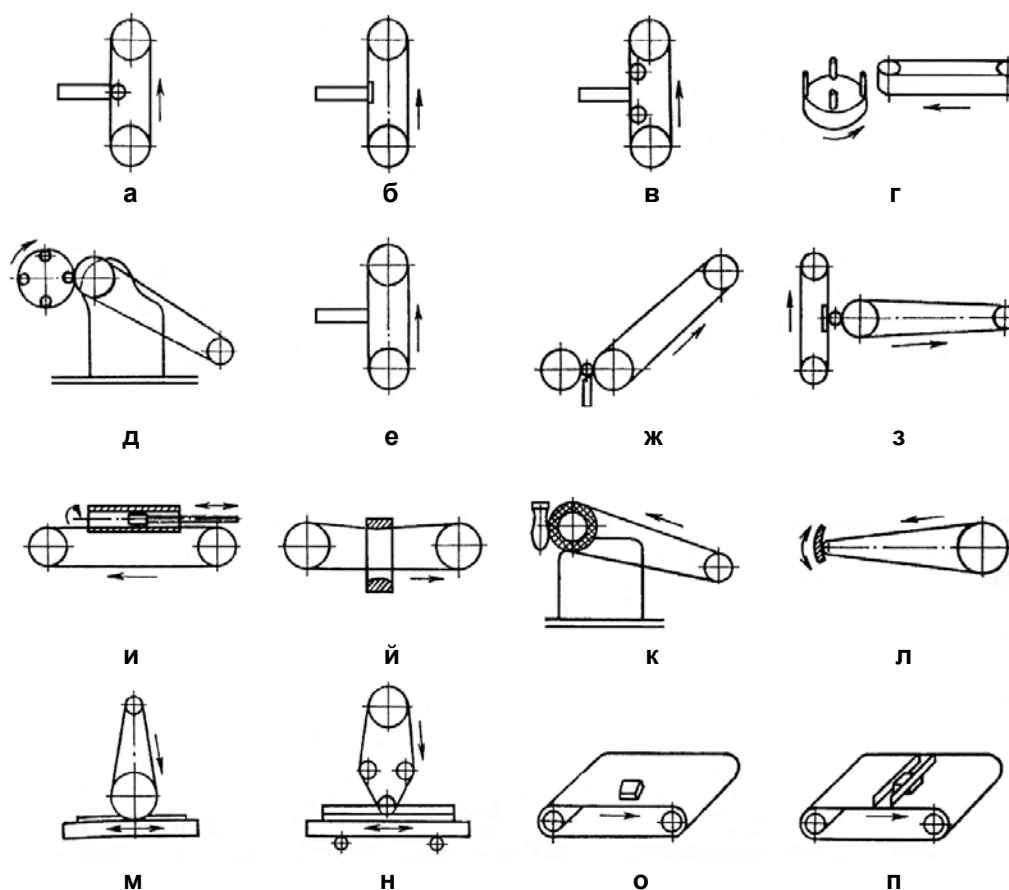
- *безцентрово шлифование* (Фиг. 7.7 ж,з);

- *вътрешно шлифование или полиране на детайли с голяма дължина* (тръби) (Фиг. 7.7 и) - обработваният детайл извършва въртеливо движение; притискането на лентата към обработваната повърхнина се осъществява от специална контактна глава, извършваща възвратно-постъпателно движение;

- *вътрешно шлифование или полиране на профилни повърхнини с малка дължина* (Фиг. 7.7 й) – обработването се извършва без притискане на лентата с контактни елементи (със свободно рамо);

- *външно профилно лентово шлифование или полиране* - осъществява се с еластични профилни контактни дискове (Фиг. 7.7 к) или със специални копири (Фиг. 7.7 л);

- *плоско шлифование или полиране* с широка безкрайна абразивна лента на детайли, закрепени върху маса, извършваща възвратно-постъпателно движение (Фиг. 7.7 м), на детайли с Т-образен профил (Фиг. 7.7 н) и на малки детайли (Фиг. 7.7 о,п).



Фиг. 7.7 Схеми на лентово шлифване

Сложните профилни повърхнини се обработват с широка лента едновременно по цялата повърхнина или с тясна лента на редове (надлъжни или напречни редове, с проход в две посоки и с движение на контактния елемент по синусоида). Шлифването се извършва с еластични контактни елементи с копирна система. Подаването на абразивната лента за врязване може да стане наведнъж с определена големина или безстепенно. Безстепенното подаване позволява да се снемат неравномерни прибавки при постоянни сили и температури на рязане, което има съществено значение за състоянието на повърхностния слой на детайла и трайността на копира.

В някои случаи, например при шлифване на детайли с ръбове, притискащият елемент трепти напречно на движението на лентата с амплитуда, достатъчна, за да отдели лентата от детайла. С това опъването на лентата се изравнява по цялото рамо, движението ѝ става по-плавно, без повдигания и вълни. При осцилиране микронеравностите по повърхнината на детайла се намаляват и се подобрява качеството на повърхностния слой.

7.2. РЕЖИМ НА РЯЗАНЕ

7.2.1. Режим на рязане при твърдо шлифване

- *Определяне на дълбочината на рязане*

Дълбочината на рязане a се избира в зависимост от вида на шлифването, обработвания материал и изискванията за грапавост на повърхнината. Тя

варира от няколко стотни от милиметъра (при грубо шлифване) до няколко микрометъра (при чисто шлифване).

- **Определяне на надлъжното, напречното и вертикалното подаване**

Особеностите при определяне на надлъжното f , напречното f_n и вертикалното f_v подаване при различни схеми на шлифване са разгледани в т. 7.1.

- **Определяне на скоростта на кръговото подавателно движение**

Скоростта на кръговото подавателно движение на обработвания детайл V се избира в зависимост от трайността на абразивния диск ($T = 20 \div 60 \text{ min}$) при грубо (предварително) шлифване и в зависимост от грапавостта на обработената повърхнина при чисто шлифване:

- $V = 20 \div 80 \text{ m/min}$ - при грубо шлифване;

- $V = 15 \div 50 \text{ m/min}$ - при чисто шлифване.

Изборът на големина на скоростта на кръговото подавателно движение е свързан с факта, че увеличаването на V води до намаляване на трайността на инструмента и нарастване на грапавостта на шлифваната повърхнина. Влияние върху скоростта на кръговото подавателно движение оказват и видът на обработвания и абразивния материал, диаметърът на обработвания детайл d , дебелината на срязвания слой материал:

$$V = \frac{C_v d}{T^{0,5} a^{x_v} f^{y_v}}, \text{ m/min}, \quad (7.6)$$

където: C_v - константа, която зависи от физико-механичните свойства на обработвания и абразивния материал; x_v, y_v - степенни показатели, отчитащи влиянието на дълбочината на рязане и подаването.

- **Определяне на скоростта на рязане**

Скоростта на рязане V_c се избира максимално възможната от гледна точка на якостта на шлифовъчния диск и кинематичните възможности на машината. Тя зависи от вида на шлифването, физико-механичните свойства на обработвания материал и елементите на характеристиката на абразивния инструмент (вид на абразивния материал и на свръзката) - $V_c = 20 \div 40 \text{ m/s}$.

Определените елементи на режима на рязане служат за определяне на времето на рязане t_c . То се определя от следните зависимости:

- при външно и вътрешно кръгло шлифване с надлъжно подаване:

$$t_c = \frac{L_p}{nf} \frac{Z}{f_n} K, \text{ min}; \quad (7.7)$$

- при външно и вътрешно кръгло шлифване с напречно подаване:

$$t_c = \frac{Z}{nf_n} K, \text{ min}; \quad (7.8)$$

- при плоско шлифване с периферията на инструмента:

$$t_c = \frac{L_p}{10^3 V_f} \frac{B_p}{f_n} \frac{Z}{f_v} K, \text{ min}; \quad (7.9)$$

- при плоско шлифование с челото на инструмента:

$$t_c = \frac{L_p}{10^3 V_f} \frac{Z}{f_n} K, \text{ min}, \quad (7.10)$$

където: L_p и B_p - дължина на надлъжния и напречния работен ход; $K = 1,2 \div 1,3$ - коефициент, отчитащ увеличаването на броя на ходовете за отискряне.

7.2.2. Режим на рязане при лентово шлифование

Елементите на режима на рязане при лентово шлифование са: скорост на лентата V_c ; скорост на детайла V ; скорост на надлъжно подаване V_f , напречно подаване f_n , относително налягане p . Те се подбират в зависимост от обработвания материал и характеристиката на лентата.

Най-ефективно е напречно подаване от $0,12 \text{ mm/дв.ход}$ до $0,2 \text{ mm/дв.ход}$. При по-малко подаване лентата се избутва от детайла и ефективността на рязане се понижава рязко, а при големи подавания се увеличава натоварването на лентата, повишава се температурата в работната зона и се намалява трайността на лентата.

Шлифването на проход с използване на метални контактни ролки позволява обработване при дълбочина на рязане $0,015 \div 0,15 \text{ mm}$ и скорост на надлъжно подаване $V_f = 1,2 \div 10 \text{ m/min}$.

За шлифование на черни и цветни метали с диамантени безкрайни ленти се използват специални приспособления на универсални стругове или кръглошлифовъчни машини с нормална точност. Оптималният режим на рязане е: скорост на лентата $V_c = 30 \div 35 \text{ m/s}$; скорост на детайла $V = 20 \div 30 \text{ m/min}$; скорост на надлъжно подаване $V_f = 0,3 \div 0,4 \text{ m/min}$; относително налягане $p = 0,2 \div 0,3 \text{ MPa}$. При обработване на легирани стомани с абразивни ленти от бял и нормален електрокорунд със зърнистост $40 \div 120$ препоръчителният режим на рязане е: $V_c = 20 \div 25 \text{ m/s}$; $p = 0,03 \div 0,1 \text{ MPa}$; опъване на лентата $4 \div 5 \text{ kN/m}$. При обработване на цветни сплави с ленти от зелен карборунд и зърнистост $25 \div 32$ препоръчителният режим е: $V_c = 25 \div 32 \text{ m/s}$; $p = 0,007 \div 0,025 \text{ MPa}$; опъване на лентата $1,5 \div 2 \text{ kN/m}$ [32].

При обработване на детайли със сложна конфигурация се използват диамантени ленти със зърнистост $220 \div 280$ при следния режим на рязане: честота на въртене на детайла - $700 \div 800 \text{ min}^{-1}$; честота на трептенията на детайла - 70 дв.хода/min ; амплитуда на трептенията - 3 mm ; относително налягане - $1,2 \text{ MPa}$ при предварително и $0,5 \div 0,7 \text{ MPa}$ при окончателно обработване [32].

7.3. АБРАЗИВНИ ИНСТРУМЕНТИ

7.3.1. Класификация на абразивните инструменти

Абразивните инструменти са инструменти с недефинирана режеща част и най-често представляват тела, изградени изцяло или съдържащи слой от абразивни зърна, свързани чрез свързка (Фиг. 7.8) [66, 67, 75]. Те се класифицират в две групи - *твърди абразивни инструменти (монолитни и съставни)* и *гъвкави абразивни инструменти*.

За обработване на различни повърхнини се използват и *абразивни пасти* (течни, полутечни и твърди) или *хидроабразивни суспензии*.

А. Твърди абразивни инструменти

В зависимост от формата, твърдите абразивни инструменти са обособени в четири основни групи – дискове, глави, сегменти и брусове.

Абразивните дискове се изработват с различна форма, размери (Фиг. 7.9) и профили (Фиг. 7.10), изборът на които зависи от конфигурацията и размерите на обработвания детайл, изискванията към обработената повърхнина, характера на технологичната операция, типа и размерите на оборудването.

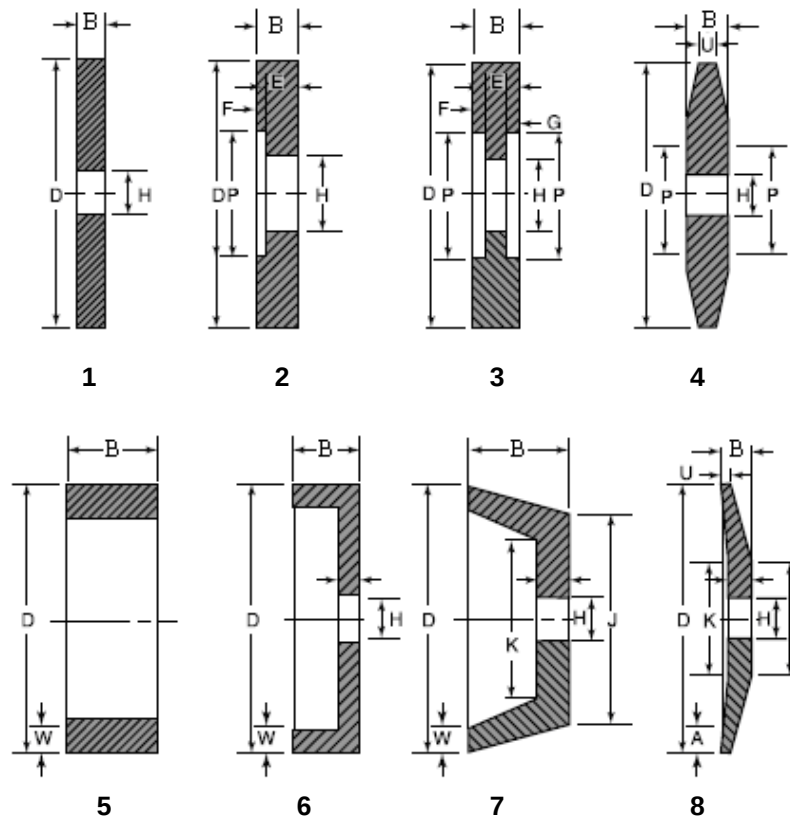
Най-широко приложение намират абразивните дискове с прав профил (плоски дискове) и с вдлъбнатини (вдлъбнати дискове) - форми 1, 2, 3. Те се прилагат при кръгло външно, вътрешно, безцентрово и плоско шлифование, шлифование на резби, заточване на режещи инструменти, зачистване на шлифовъчни дискове, почистване и грубо обработване на отливки и заварки. Дисковете с форма 2 се използват за едновременно шлифование на отвора и челото на обработвания детайл и за челно шлифование на направляващи, а тези с форма 1 и размери $B = 0,6 \div 4 \text{ mm}$, $D = 125 \div 180 \text{ mm}$ (отрезни дискове) - за отрезни и прорезни операции, за шлифование на дълбоки тесни жлебове и канали. Абразивните дискове с форма 6 (чашки цилиндрични) и 7 (чашки конусни) са



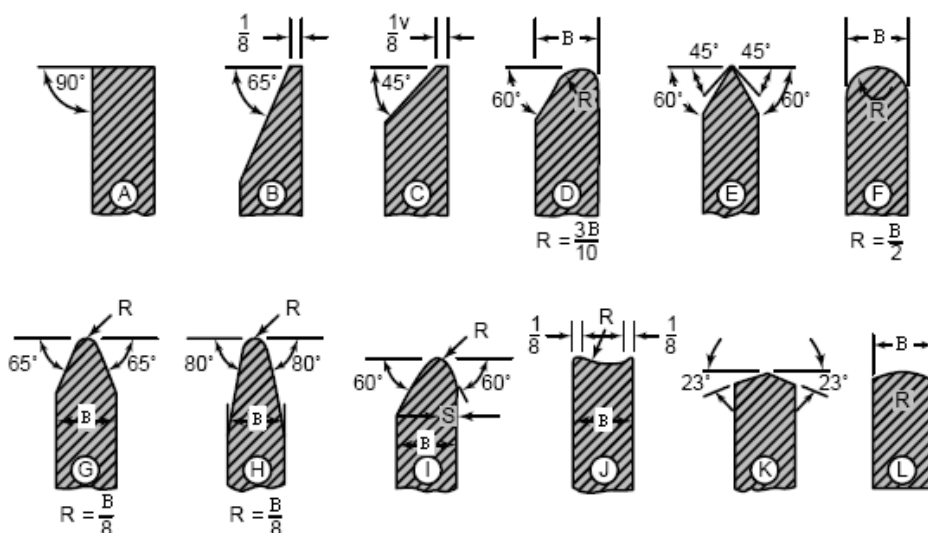
Фиг. 7.8. Абразивни инструменти

предназначени за заточване на режещи инструменти. Дискове с форма 6 понякога се използват и за вътрешно шлифование, а тези с форма 7 – за плоско шлифование на труднодостъпни места, например направляващи тип „лястовича опашка”. Плоските дискове с конусен профил (форма 4) се прилагат за шлифование на зъбни колела, резби, за заточване и шлифование на многоръбови инструменти (зъбодълбачни колела, фрези, зенкери, райбери, триони и др.). За заточване на многоръбови инструменти (протяжки, фрези, райбери) и за шлифование на зъбни колела се използват и дискове с форма 8 (чиниевидни дискове).

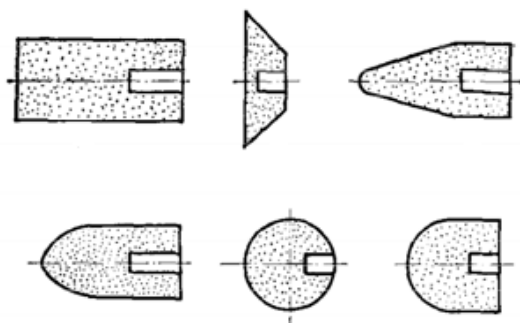
Абразивните глави (Фиг. 7.11) представляват ротационни инструменти с различен профил (сферични, конусни, цилиндрични, заострени, полусферични) и малки размери. Използват се за вътрешно шлифование, шлифование и зачистване на сложни профилни повърхнини (например профилни повърхнини на щампи и пресформи), снемане на остри ръбове, заточване на плашки и обработване на труднодостъпни повърхнини, които не могат да се шлифват с обикновени абразивни дискове. Тези инструменти работят на вътрешно-шлифовъчни машини или на машини с гъвкави валове.



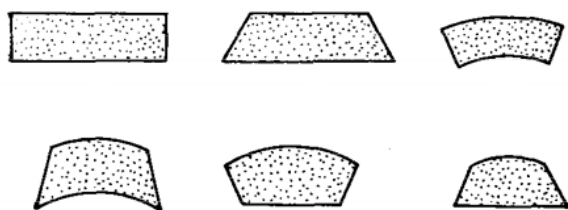
Фиг. 7.9. Видове абразивни дискове



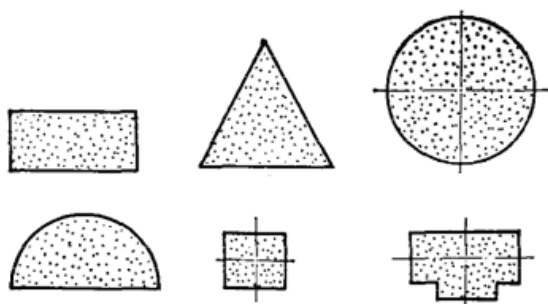
Фиг. 7.10. Профили на абразивни дискове



Фиг. 7.11. Абразивни глави



Фиг. 7.12. Абразивни сегменти



Фиг. 7.13. Абразивни брусове

Абразивните сегменти (Фиг. 7.12) са предназначени за плоско челно шлифване и заточване на ножове, както и за производство на съставни дискове. Съставните дискове се отличават със своята прекъсната работна повърхнина и намалена контактна площ с обработвания детайл, което гарантира по-малкото им загряване и по-активно топлоотделяне в процеса на шлифване.

Абразивните брусове са призматични тела с различно напречно сечение (Фиг. 7.13). Те се използват за външно и вътрешно хонинговане, свръхзаглаждане, окончателно фино шлифване и за ръчни шлосерски операции.

Б. Гъвкави абразивни инструменти

Гъвкавите абразивни инструменти (шкурки и ленти на хартиена или текстилна основа) се произвеждат във вид на рула, листове, дискове и безкрайни ленти с различни размери. Те се състоят обикновено от един абразивен слой, закрепен върху гъвкава (мека) основа. Като абразивен материал се използват електрокорунд, силициев карбид, стъкло, кварцов пясък, корунд

и други. За закрепване на абразивния материал върху основата се използват туткалено или синтетично лепило.

Качеството и трайността на тези инструменти зависи от якостта на разкъсване на основата, якостта на свързване на лепилото, вида на абразивния материал и съдържанието на основната фракция в него, метода на нанасяне на зърната върху основата (механичен или електростатичен), степента на натягане на лентата.

Гъвкавите абразивни инструменти се използват за различни ръчни и машинни почистващи операции, шлифване и полиране на детайли от стомана, чугун, цветни метали и сплави. Благодарение на гъвкавостта и малката им дебелина, с тях могат да се обработват труднодостъпни места и тесни жлебове. Абразивните ленти намират все по-широко приложение за довършващо обработване на профилни детайли, тръби, прътове, ламаринени листове и др.

В. Абразивни пасти

Абразивните пасти се прилагат за притриване и полиране на повърхнини посредством притири, изработени от чугун, стомана, мед, месинг, олово, твърдо

дърво, текстолит, оптично стъкло, гума, кожа и други материали. В зависимост от технологичните условия се използват течни, полутечни и твърди пасты, разтворими във вода и органични разтворители. Пастите за предварително притриване съдържат $50 \div 80\%$ абразивен материал, а тези за окончателно притриване - $15 \div 20\%$. В състава на абразивните пасты се включват масло, керосин, стеарин, парафин или олеинова киселина.

За полиране на сложни профилни повърхнини се използват *хидроабразивни суспензии* (смес от течност и абразив), които се подават през дюза със скорост над 50 m/s .

7.3.2. Характеристика на абразивните инструменти

Абразивните инструменти се характеризират с форма и размери, материал и зърнистост на абразивните зърна, твърдост, структура и свързка. За всеки конкретен случай на обработване (вид на операцията, тип и честота на въртене на машината, форма, размери и физико-механични свойства на обработвания детайл, изисквано качество на обработените повърхнини, режим на рязане, брой детайли, степен на автоматизация, вид, количество и метод на подаване на СОТ и др.) се избират инструменти с подходяща форма, размери и характеристика.

Формата и размерите са регламентирани само за абразивните дискове, глави, брусове и сегменти, като най-използваните форми са показани на Фиг. 7.9÷Фиг. 7.13.

А. Абразивни материали

Абразивните материали са минерални вещества с естествен или изкуствен произход. Режещата им способност се определя от физико-механичните свойства и едрината на зърната. Абразивните материали във вид на зърна с размери $2000 \div 1 \mu\text{m}$ се използват за изработване на абразивни инструменти (дискове, брусове, сегменти, ленти) и за обработване със свободни абразивни зърна (притриване, полиране). Абразивните зърна трябва да имат голяма твърдост и топлоустойчивост, както и да се чупят при затъпяване, за да се образуват нови режещи ръбове.

• *Естествени (природни) абразивни материали*

Към естествените абразивни материали се отнасят кварцът, корундът, шмиргелът и диамантът. С изключение на диаманта, те са нееднородни по състав и обикновено съдържат примеси, които намаляват режещата им способност. Затова намират ограничено приложение.

Кварцът е материал, който се състои от SiO_2 ($\leq 97\%$). Използва се във вид на свободно зърно за шлифование и полиране на стъкло, както и за изработване на шлифовъчна хартия и тъкан, предназначени за обработване на неметални материали.

Корундът е материал, който се състои предимно от кристален Al_2O_3 ($\approx 80 \div 90\%$) и примеси от други химично свързани с него материали (минерали). Срещат се две основни разновидности, които се различават по цвят, чистота, структура и твърдост – благороден и обикновен корунд. Обик-

новеният корунд във вид на прахове и микропрахове се използва за шлифване и полиране на оптични и други стъкла, за изработване на специални дискове с графитов пълнител, дискове за шлифване на сачми за лагери, шлифовъчна хартия и тъкан, водещи дискове за безцентрово шлифване.

Шмиргелът представлява смес от дребнозърнест корунд ($Al_2O_3 \leq 60\%$) и магнетит, хематит, фелдшпат, кварц. Използва се за изработване на дискове с мегнезитова свързка, полировъчни дискове, шлифовъчна хартия и за „свободно“ шлифване.

Диамантът е кристална модификация на въглерода с кубична кристална решетка. Кристалите на диаманта имат разнообразна геометрична форма, която се приближава до геометрично правилната. Характеризират се с анизотропни свойства - твърдостта и якостта на диаманта не са еднакви по различните оси (например твърдостта на диаманта е относително най-голяма по стените на октаедъра, по-малка - по стените на ромбододекаедъра и още по-малка - по стените на куба). Цветът на диаманта варира от безцветен (водно-прозрачен) до черен в зависимост от вида и количеството на примесите ($0,02\% \div 4,8\%$). Поради големия показател на пречупване на светлината има силен блясък. Масата на диаманта се изразява в *карати* ($1\text{ ct} = 2 \cdot 10^{-4}\text{ kg}$). Най-често срещаните в природата диаманти са с маса $0,01 \div 0,4\text{ ct}$.

Възможностите за използване на диаманта като абразивен материал се определят от неговата *висока твърдост* (най-голяма от известните естествени и изкуствени материали), *износоустойчивост* и *абразивна способност*, които особено силно се проявяват при обработване на твърди и крехки материали (твърди сплави, гранит, мрамор, стъкло, кварц, корунд, германий, силиций, рубин, скъпоценни камъни, железобетон, диаманти и други труднообработваеми материали). *Диамантените зърна са с много остри ръбове и малки радиуси на закръгление*, което има благоприятно влияние върху характера на механичното взаимодействие на зърната с обработвания материал.

Диамантът се характеризира с голяма топлопроводимост, малък температурен коефициент на разширение и малък коефициент на триене. Големата топлопроводимост и големата относителна топлопоглъщаемост спомагат за побързото отвеждане на топлината и понижаването на температурата в зоната на рязане. *Диамантът се отличава и с висока химическа и корозионна устойчивост*. Той е химически инертен материал и само при високи температури придобива слаба химическа активност. Диамантените зърна със средни размери започват да се окисляват при температура 750°C , поради което не е целесъобразно използването на диамантени инструменти над тази температура. При нагряване до температура $750 \div 800^\circ\text{C}$ и при наличие на желязо диамантът се разтваря в желязото. Това трябва да се има предвид при обработване на железни сплави.

- **Изкуствени (синтетични) абразивни материали**

Изкуствени абразивни материали са *електрокорундът, карборундът, борният карбид, кубичният борен нитрид и синтетичният диамант*. Те имат

еднороден състав, добри и стабилни физико-механични свойства, показват по-висока режеща способност в сравнение с природните абразивни материали, поради което намират широко приложение.

Електрокорундът е технически получен минерал, който се състои от корунд (кристален Al_2O_3) и примеси от други материали. В зависимост от съдържанието и метода на производство, електрокорундът има различен цвят, структура, свойства и носи различни наименования:

- *Нормален електрокорунд (95А)* – съдържа 91÷97% Al_2O_3 и в зависимост от състава и количеството на примесите има светло- до тъмносив цвят. С увеличаване на съдържанието на Al_2O_3 се подобрява неговата абразивна способност. Високата твърдост на нормалния електрокорунд го прави особено ефективен при обработване на материали с голяма якост на опън (въглеродни и легирани стомани, ковък чугун, цветни метали и сплави).

- *Бял електрокорунд (99А)* – съдържа над 97% Al_2O_3 . Той е по-твърд, но по-крехък от нормалния електрокорунд. Режещата способност на белия електрокорунд е с 30% ÷ 40% по-голяма от тази на нормалния електрокорунд. Използва се предимно за окончателни шлифовъчни операции на закалени бързорежещи, въглеродни и легирани стомани.

- *Легирани електрокорунди (титанов, циркониев, хромов, рубин корунд)* – характеризират се с повишено съдържание на монокристали и с по-голяма якост на удар, самозаточваща и абразивна способност. Те са особено подходящи за изработване на абразивни инструменти, подложени на ударни натоварвания, както и за обработване на конструкционни и инструментални стомани. Относителната производителност на инструментите от легирани електрокорунди при шлифване на детайли от труднообработваеми материали е 1,5 ÷ 2 пъти по-голяма от тази на инструментите от бял електрокорунд, а износването им е с 20 ÷ 30% по-малко [53, 56].

- *Монокорунд* – съдържа до 99% кристален Al_2O_3 и има най-добри показатели по отношение на твърдост, якост и абразивна способност. Абразивните инструменти от монокорунд се характеризират с активна самозаточваща способност, високи режещи свойства при понижени енергийни разходи и сили на рязане, малко загряване на обработваните детайли. Благодарение на това, при редица операции броят на заточванията и разходът на абразив се намаляват до 40%, а производителността се повишава до 50%. Монокорундовите инструменти се използват за междинно и фино шлифване на детайли от труднообработваеми легирани стомани и сплави, като бързорежещи ванадиеви и кобалтови стомани, огнеупорни и киселиноустойчиви стомани и др.

- *Сфорокорунд* (съдържа повече от 99% Al_2O_3 и малки количества примеси) – получава се чрез стопяване на Al_2O_3 във вид на кухи корундови сфери. Използва се за изработване на абразивни инструменти с керамична и органична свързка, подходящи за обработване на меки метални и неметални материали и на материали с голяма якост на удар – цветни метали, каучук, пластмаси, кожа. В процеса на обработване сферите се разрушават и откриват нови остри

режещи ръбове и върхове, чрез което се осигурява производително шлифване със слабо топлоотделяне.

Силициевият карбид (карборунд) е химично съединение на силиций и въглерод, получено при взаимодействието им в електросъпротивителни пещи при високи температури ($2100 \div 2200^{\circ}\text{C}$). Произвежда се в две разновидности:

- *Черен силициев карбид (98C)* - съдържа $96 \div 98\%$ SiC . Използва се за шлифване на метали с малка якост на опън – сив и избелен чугун, мед, алуминий, крехък бронз, месинг, както и на повечето неметални материали – мрамор, гранит, кожа, керамика, полупроводникови материали и др.

- *Зелен силициев карбид (99C)* - съдържа повече от 98% SiC и се характеризира с по-голяма твърдост, крехкост и абразивна способност от черния SiC . Абразивните инструменти, изработени от този материал, имат по-добра самозаточваща способност от инструментите от черен карборунд. Използва се главно за заточване на металокерамични инструменти, шлифване на огнеупорни (титанови) стомани, минерали, керамика и др.

Борният карбид е технически материал, който съдържа 94% кристален B_4C и примеси от бор, графит, свободен въглерод и др. Характеризира се с голяма твърдост, изнosoустойчивост и абразивна способност. Използва се във вид на свободно зърно или пасти за шлифване и полиране на твърдосплавни изделия, металографски образци и др.

Кубичният борен нитрид (CBN) е свръхтвърд материал, който се получава при наличие на катализатори в специални контейнери на хидравлични преси, осигуряващи високо налягане ($300 \div 980 \text{ MPa}$) и температура около 2000°C . Кристалната му решетка по строеж и параметри е почти като тази на диаманта, но съдържа борни и азотни атоми. В зависимост от използваните суровини и метод на производство, *CBN* се характеризира с различни физико-механични и експлоатационни свойства и носи различни търговски наименования (*елбор*, *кубонит*, *боразон*).

Кубичният борен нитрид се характеризира с висока твърдост и абразивна способност, голяма топлоустойчивост (до 1400°C) и инертност към желязото. Това го прави ефективен при шлифване на закалени до висока твърдост труднообработваеми стомани и сплави, при което се осигурява понижаване на адхезионното и дифузионното износване на инструментите.

Синтетичните диаманти се получават при температура $2500 \div 3500^{\circ}\text{C}$, налягане $5 \cdot 10^3 \div 17 \cdot 10^3 \text{ MPa}$ и наличие на катализатори (хром, никел, желязо, кобалт и др.). Големината на кристалите, тяхната форма, характер на повърхнините, механична якост и крехкост зависят от режима на синтезиране.

Произвеждат се различни марки синтетични диамантени прахове с размер на зърната $0,04 \div 0,63 \text{ mm}$ и синтетични диамантени микропрахове, различаващи се по физико-механични свойства и област на приложение [4, 10, 32, 53]. Диамантените прахове се използват за изработване на: абразивни инструменти с метални, керамични и органични свързки за окончателно шлифване на твърди и крехки материали (метало- и минералокерамика,

стъкло, рубин, корунд, камък, бетон, гранит, мрамор и др.); профилни дискове, дискове, работещи при повишени налягания, и на брусове за грубо хонинговане; инструменти, предназначени за заточване на шлифовъчни дискове. С диамантени микропрахове се изработват диамантено-абразивни инструменти, пасти и суспензии за обработване на твърди сплави, стъкло, кварц, порцелан, германий, силиций, кристали от природни и синтетични диаманти, корунд, рубин, специална керамика и други особено твърди материали.

Б. Зърнистост

Абразивните материали влизат в състава на абразивните инструменти във вид на зърна с различни размери. *В зависимост от едрината на частиците абразивните материали се делят на зърна, прахове и микропрахове* (Таблица 7.1 [56, 67]).

Зърнистостта на абразивния материал се определя от линейните размери на абразивните зърна и се характеризира с размерите на отворите на ситата, през които преминават абразивните зърна. Тя се означава със съответен номер по:

- *метричната система (БДС)* – номерът на зърнистост отговаря на средния размер на зърната в стотни от милиметъра; за микропраховете числото в номера означава средния размер на зърната в μm ;

- *цоловата система (ISO)* – номерът на зърнистост отговаря на броя на отворите в дължина от един цол на ситото, с което са пресети абразивните зърна; колкото са по-малки размерите на зърната, толкова е по-голям номерът на зърнистост.

Определяща характеристика на зърнистостта е основната фракция. Тя има важно значение за еднородността на абразивния инструмент и качеството на неговата работа. Например с увеличаване на съдържанието на основната фракция от 40% на 60% режещата способност на инструмента се повишава с $15 \div 20\%$, а износването му намалява повече от 60% при едновременно подобряване на качеството на шлифованата повърхнина. Абразивните материали се произвеждат със съдържание на основната фракция обикновено $40 \div 45\%$. По желание на потребителите се произвеждат шлифовъчни прахове с основна фракция 55% и микропрахове с основна фракция над 55%.

Зърнистостта е важен елемент на характеристиката на абразивните инструменти, който влияе върху производителността и качеството на обработените повърхнини. Тя варира от много едра до много ситна: *едра* - $6 \div 24$; *средна* - $30 \div 60$; *ситна (фина)* - $70 \div 180$; *много ситна* - $220 \div 1000$ (означението на номера на зърнистост е по цоловата система).

Означението на зърнистостта на праховете и микропраховете от синтетичен диамант и кубичен борен нитрид по метричната система се различава от това на класическите абразивни материали. Размерът на зърната във всяка фракция се определя от размерите на отворите (в μm) на две контролни сита. Зърната трябва да преминават през горното сито и да се задържат от долното. Зърнистостта се определя по основната фракция и се означава с дроб, числителят на която съответства на размера на отворите на горното сито, а

знаменателят – на размера на отворите на долното сито.

Абразивните прахове от синтетичен диамант и кубичен борен нитрид се произвеждат в два диапазона на зърнистост: широк (включва зърнистости от 400/315 до 63/40) и тесен (включва зърнистости от 630/500 до 50/40). Към групата на микропраховете спадат абразивни зърна със зърнистости с номера от 60/40 до 1/0.

Означението на зърнистостта на праховете и микропраховете от синтетичен диамант и кубичен борен нитрид по цоловата система е аналогично на това на класическите абразивни материали (Таблица 7.1).

Таблица 7.1. Означение на зърнистостта на абразивните зърна

Група на зърнистост	Цолова система		Метрична система	
	Размери на зърната на основната фракция, μm	Номер на зърнистост	Размери на зърната на основната фракция, μm	Номер на зърнистост
Абразивни зърна	2830 ÷ 2380	8	3150 ÷ 2500	250
	2380 ÷ 2000	10	2500 ÷ 2000	200
	2000 ÷ 1680	12	2000 ÷ 1600	160
	1680 ÷ 1410	14	1600 ÷ 1250	125
	1410 ÷ 1190	16		
	1190 ÷ 1000	20	1250 ÷ 1000	100
	1000 ÷ 840	22	1000 ÷ 800	80
	840 ÷ 710	24	800 ÷ 630	63
	710 ÷ 590	30		
	590 ÷ 500	36	630 ÷ 500	50
	500 ÷ 420	(40)	500 ÷ 400	40
	420 ÷ 350	46	400 ÷ 315	32
	350 ÷ 297	54		
	297 ÷ 250	60	315 ÷ 250	25
	250 ÷ 210	70	250 ÷ 200	20
	210 ÷ 177	80	200 ÷ 160	16
	177 ÷ 149	90		
Абразивни прахове	149 ÷ 125	100	160 ÷ 125	12
	125 ÷ 105	120	125 ÷ 100	10
	105 ÷ 88	150	100 ÷ 80	8
	88 ÷ 74	180	80 ÷ 63	6
	74 ÷ 62	(200)		
	62 ÷ 53	220	63 ÷ 50	5
	53 ÷ 40	240	50 ÷ 40	4
			40 ÷ 28	3
Абразивни микропрахове	40 ÷ 30	280	40 ÷ 28	M 40
	30 ÷ 20	320	28 ÷ 20	M 28
	20 ÷ 16	400	20 ÷ 14	M 20
	16 ÷ 13	500	14 ÷ 10	M14
	13 ÷ 10	600	10 ÷ 7	M10
			7 ÷ 5	M 7
			5 ÷ 3	M 5

В. Свързка и пълнител

Свързката е предназначена да съедини абразивните зърна и да предотврати преждевременното им иззронване в процеса на обработване. Видът, качеството, количеството и равномерното разпределение на свързката в абразивния инструмент имат определящо влияние върху неговата твърдост, якост, порестост, еднородност, структура, неуравновесеност и допустима скорост на рязане. Абразивните инструменти с еднаква твърдост и от един и същ абразивен материал, но с различни свързки, имат различни експлоатационни параметри.

Свързката не само задържа режещите зърна в работния слой на инструмента, но влияе и върху производителността на обработката и качеството на обработените повърхнини, има полиращо действие, понижава коефициента на триене и адхезията с обработваните повърхнини, осигурява работа на диска в режим на самозаточване, определя якостта, стабилността и изнosoустойчивостта на работния слой, участва в образуването и отвеждането на топлина от зоната на рязане.

Пълнителят също има голямо значение - повишава якостта, твърдостта и изнosoустойчивостта на свързката, интензифицира процеса на рязане, подобрява топлоотвеждането в диска.

Абразивните инструменти се изработват с неорганични (керамични, силикатни, магнезитови), органични (бакелитови, вулканитови, шеллакови, глифталови) и метални свързки. Най-разпространени са керамичната, бакелитовата и вулканитовата свързка.

• Керамична свързка

Керамичната свързка се получава от огнеупорна глина, фелдшпат, кварц и други материали. Характеризира се с голяма топлоустойчивост, твърдост, химическа устойчивост и водоустойчивост. Тези свойства *придават определена универсалност на абразивните инструменти с керамична свързка* (относителният дял на инструментите с керамична свързка е $50 \div 55\%$). *Те се използват при разнообразни шлифовъчни операции (почистващи, груби, фини и точни), които се реализират без и с прилагане на СОТ, при скорост на рязане V_c до 60 m/s , с големи надлъжни и напречни подавания и със значителна дълбочина на рязане.*

Нормалната работна скорост е $V_c \leq 35 \text{ m/s}$. Инструментите за скоростно шлифование се изработват с боросъдържаща или друга керамична свързка с висока якост. Керамичната борна свързка повишава производителността при шлифование с $20 \div 30\%$ [50, 56].

Недостатъци на абразивните инструменти с керамична свързка са тяхната крехкост и малка еластичност, поради което не се препоръчват за операции, придружени с удари и вибрации.

С керамични свързки се изработват:

- абразивни инструменти от електрокорунд и силициев карбид със зърнистост $36 \div 600$, с различна твърдост и структура – шлифовъчни дискове с различни диаметри и широчини (с изключение на тези с широчина под 1 mm), сегменти, брусове и глави;

- диамантени дискове – при работа с обилно охлаждане показват висока режеща способност, не се замазват и осигуряват грапавост $Ra = 0,63 \div 0,08 \mu m$ на обработените повърхнини; при някои свързки се използват и пълнители;

- абразивни инструменти от CBN с различна твърдост и структура - дискове със зърнистост $80 \div 240$, резбошлифовъчни дискове със зърнистост $120 \div 400$, брусовете за свръхзаглаждане със зърнистост $280 \div 600$, брусовете за ръчно притриване със зърнистост $120 \div 600$ - характеризират се с голяма трайност и износоустойчивост, превишаващи около 50 пъти тези на инструментите от класически абразивни материали, и са подходящи за високопроизводително шлифование и получаване на повърхнини с голяма точност [32].

- **Бакелитова свързка**

Бакелитовата свързка представлява прахообразна или течна бакелитова (фенолформалдехидна) смола. Абразивните инструменти с бакелитова свързка имат голяма якост, еластичност и способност да поглъщат вибрации и удари. *Подходящи са за работа при променливо натоварване (грубо обработване на отливки, заварки, рязане на метални и неметални материали, шлифование на некръгли и нестабилни детайли – лагерни гривни). Могат да работят при скорости до $70 m/s$, както и да се изработват с малка широчина.*

В сравнение с керамичната, бакелитовата свързка загрява по-малко обработвания детайл, има полиращо действие и придава по-малка грапавост на обработената повърхнина при еднакви условия. При включен графит в състава на бакелитовата свързка се осигурява грапавост $0,16 \div 0,02 \mu m$ и абразивните инструменти притежават по-добра топлопроводимост. Абразивните инструменти с бакелитова свързка имат и по-добра самозаточваща способност и по-равномерна твърдост.

Недостатък на бакелитовата свързка е малката ѝ топлоустойчивост, като при температура $250 \div 300 ^\circ C$ тя изгаря (с увеличаване на температурата намалява якостта на свързката). Затова при някои скоростни операции абразивните инструменти се изработват със специални конструкции - армират се с няколко слоя от стъклена мрежа (например абразивни дискове за рязане и почистване при $V_c = 80 \div 100 m/s$) или в едрозърнести дискове с $D = 350 \div 500 mm$ се формоват един или два железни пръстена, които задържат парчетата при разкъсване на диска.

Използването на алкални електролити с концентрация над 1,5% като СОТ води до намаляване на якостта и твърдостта на абразивните инструменти с бакелитова свързка. Затова понякога тези инструменти се покриват с лак или парафин. Използването на криолит за пълнител в свързката повишава нейната устойчивост. Бакелитовата свързка в комбинация с уякчаващи слоеве от текстил или стъклена мрежа осигурява голяма якост на абразивните дискове и възможност за работа със скорости до $100 m/s$.

С бакелитова свързка се произвеждат абразивни инструменти (шлифовъчни дискове, сегменти и брусове) от класически абразивни материали, главно от нормален електрокорунд и черен силициев карбид със зърнистост $12 \div 240$,

рядко от бял електрокорунд и зелен силициев карбид със зърнистост $36 \div 600$. Те се използват за шлифване, заточване, довършващо заглаждане и полиране на детайли и инструменти от различни материали, за рязане и прорязване на тесни канали, за плоско и профилно шлифване.

Абразивни инструменти от свръхтвърди материали с различна зърнистост ($60 \div 800$) се изработват с бакелитови свързки с пълнител борен карбид или железен прах - за инструменти от CBN, и абразивен прах от електрокорунд, силициев карбид или борен карбид - за инструменти от синтетични диаманти. За намаляване на влиянието на пълнителя върху грапавостта на обработената повърхнина, неговата зърнистост се приема с два номера по-малка от зърнистостта на свръхтвърдия материал. Диамантените дискове с органична свързка са предназначени за окончателно заточване на металокерамични инструменти, окончателно шлифване на измервателни инструменти, машинни детайли и други изделия, резбошлифване и профилно шлифване. При обработване на твърдосплавни изделия може да се постигне грапавост $Ra = 0,08 \div 0,02 \mu m$. В случаите, когато е нежелателно използването на СОТ, диамантени дискове с бакелитови свързки могат да се използват и за предварителна, и за окончателна обработка. Диамантени брусове с органична свързка се използват за окончателно хонинговане на бронз, месинг, алуминий и закалени стомани. По конструкция, характеристика и технология на производство инструментите от CBN с органични свързки са близки до диамантените и се използват за окончателно обработване.

- **Вулканитова свързка**

Вулканитовата свързка се състои от синтетичен каучук, смесен с малко сяра. Тя *придава на абразивните инструменти по-голяма якост, гъвкавост, еластичност и полиращо действие в сравнение с бакелитовата свързка.* Инструментите с вулканитова свързка обаче са *по-плътни от тези с керамична и бакелитова свързка, поради което загряват повече обработваните повърхнини.* Това ги прави *неподходящи за работа при тежки режими и за снемане на големи прибавки.* Големата им плътност, съчетана със сравнително ниска топлоустойчивост ($160 \div 200^\circ C$), създава условия за бързо износване на инструмента. *Абразивните инструменти с вулканитова свързка могат да работят при скорости до $80 m/s$ с охлаждане, като изискват често почистване и заточване.*

Устойчивостта на удар на шлифовъчните дискове с вулканитова свързка е $2 \div 3$ пъти по-голяма в сравнение с тази на дискове с бакелитова свързка и $3 \div 10$ пъти по-голяма от тази на дискове с керамична свързка. По-голяма е и якостта им на огъване ($1,5 \div 2$ пъти). Това дава възможност да се изработват дискове с ширина до $0,1 m$. Инструментите с вулканитова свързка имат и *по-добра самозаточваща способност, особено спрямо тази на дискове с керамична свързка.* *Вулканитовата свързка е устойчива спрямо действието на водни емулсии, но се влияе от керосин и продължително въздействие на масла.*

Абразивните инструменти с вулканитова свързка се използват за отрезни, прорезни, окончателни шлифовъчни и полировъчни операции. Поради големата

си еластичност и якост, те намират приложение при обработки, характеризирани се със странични натоварвания на инструмента – шлифване на канали, безцентрово шлифване и др.

- **Силикатна свързка**

Силикатната свързка се характеризира с водоустойчивост, стабилност спрямо СОТ, слабо загряване на обработвания детайл и добра самозаточваща способност. Тя е с по-голяма крехкост, но с по-голяма износоустойчивост от бакелитовата свързка. Използва се за изработване на абразивни инструменти с малка твърдост, предназначени за шлифване на топлочувствителни детайли, както и на брусове от зелен карборунд и бял електрокорунд за чисто хонинговане и свръхзаглаждане на детайли от сив чугун и закалена стомана. *Допустимата работна скорост на инструментите със силикатна свързка е $V_c = 20 \div 25 \text{ m/s}$.*

- **Глифталова свързка**

Глифталовата свързка се използва за производство на шлифовъчни дискове и брусове за притриване и полиране, като се осигурява грапавост на повърхнините $Ra = 0,1 \div 0,05 \mu\text{m}$. Изработват се абразивни инструменти за шлифване на прокатни валци, полиране на бутални болтове, довършващо обработване на жлебовете на лагерни гривни. *Основни недостатъци на инструментите са ниската им топлоустойчивост и малката якост.*

- **Метална свързка**

Металните свързки се използват за изработване на инструменти от свръхтвърди материали. Те се характеризират с голяма якост, електропроводимост и износоустойчивост. В някои свързки се прибавя пълнител, като електрокорунд, силициев карбид, борен карбид, стъкло. Като пълнители могат да се използват и високотемпературни твърди смазки, които дават възможност диамантените дискове да работят без охлаждане.

Диамантените абразивни инструменти с метални свързки се характеризират с точна и стабилна работа (по-малко чувствителни са към изменението на силите на рязане), високи абразивни свойства, голяма производителност и висока износоустойчивост [50, 53, 56]. Те добре съхраняват геометричната си форма и са подходящи за предварително, дълбочинно и окончателно шлифване, за изработване на стружкочупещи канали по предната повърхнина на твърдосплавни ножове, за рязане на детайли от твърди сплави, ферит, полупроводници, неметални материали, закалени стомани и други високояки материали.

Диамантените инструменти с метални свързки се произвеждат обикновено чрез пресоване в специални пресформи. Повечето метални свързки съдържат мед и нейни сплави с калай, алуминий, никел и други. Металосиликатните свързки дават възможност да се обработват твърди сплави и без охлаждане. Получаването на работния слой при някои шлифовъчни глави и отрезни дискове става по галваничен път на базата на никелова или комбинирана свързка. Специални метални свързки се използват за електродиамантено заточване на металокерамични инструменти и за шлифване на твърди сплави.

Металните свързки се използват ограничено за производство на абразивни инструменти от кубичен борен нитрид. С такива свързки се изработват предимно профилни дискове, както и дискове, предназначени за електроабразивно шлифване.

Г. Твърдост

Под твърдост на абразивен инструмент се разбира съпротивлението на свързката му срещу откъртване на повърхностните абразивни зърна под влияние на външни сили. Колкото по-твърд е абразивният инструмент, толкова по-трудно се откъртват абразивните зърна от свързката. Твърдостта на абразивния инструмент при една и съща зърнистост се определя от количеството и вида на свързката.

С увеличаване на твърдостта и намаляване на зърнистостта якостта на абразивния инструмент нараства. Размерната нееднородност на зърнения състав има по-голямо влияние върху нееднородността на твърдостта при едрозърнестите, отколкото при ситнозърнестите инструменти. Увеличеното съдържание на ситна фракция в зърнистостта води до понижаване на твърдостта на диска с една - две степени.

Твърдостта на абразивните инструменти се означава с буквите от латинската азбука, като *A* съответства на най-меките, а *Z* – на най-твърдите абразивни инструменти (Таблица 7.2 [1, 50, 56]).

Таблица 7.2. Твърдост на абразивните инструменти

Твърдост на абразивния инструмент		Вид на свързката			Област на приложение
Групи на твърдост (БДС)	Означение (ISO)	Керамична	Бакелитова	Вулканитова	
Меки	$(A \div C)$ $D \div G$	+	+	-	Обработване на твърди сплави, минералокерамика, чугун, сплави на цветни метали
Средно меки	$H \div K$	+	+	+	Обработване на твърди сплави, бързорежещи стомани, чугун, цветни метали
Средни	$L \div O$	+	+	+	Обработване на конструкционни и бързорежещи стомани, бронз
Средно твърди	$P \div S$	+	+	+	Обработване на конструкционни стомани
Твърди	$T \div W$	+	+	+	
Много твърди	$X \div Z$	+	+	-	Заточване на шлифовъчни дискове
Извънредно твърди					

От правилния избор на твърдост на абразивните инструменти зависи ефективността на процеса на обработване. При правилно избрана твърдост протича процес на самозаточване на абразивния инструмент - абразивните зърна при затъпяване самопроизволно се откъртват под действие на елементарните сили на рязане, разкривайки нови остри зърна. Този процес не протича при много твърди инструменти, в резултат на което настъпва замазване на работната им повърхнина, нараства контактната температура и се появяват прегаряния и пукнатини по обработената повърхнина. Шлифоването с много меки дискове води до интензивно износване на абразивния инструмент и намаляване на производителността при обработване. Това се обяснява с интензивното изкъртване на незатъпени абразивни зърна от работната повърхнина на инструмента.

Д. Структура на абразивен инструмент

Структурата се определя от количественото съотношение и взаимното разположение на зърната, свързката и порите в единица обем на абразивния инструмент. При една и съща структура процентното съдържание на зърната е постоянно за различните степени на твърдост, зърнистост и видове свързки.

Структурата се означава с номера от 1 до 18, като по-малките номера съответстват на по-плътни структури (разстоянието между зърната е малко), а по-големите – на по-открити (отворени) структури (Таблица 7.3 [1, 50, 56]). Структурата не определя общата порестост на инструмента, но големината на порите зависи от номера на структурата.

Таблица 7.3. Структура на абразивните инструменти

Структура		Съдържание на абразивните зърна, %	Свързка	Област на приложение
Структурна група	Номер на структурата			
Плътна	1	60	Бакелитова	Шлифоване на стомани, твърди сплави и цветни метали; профилно шлифоване; заточване на твърдосплавни инструменти (тип <i>K</i>)
	2	58		
	3	56		
	4	54		
	5	52		
Открита	6	50	Керамична	
	7	48		
	8	46		
	9	44		
	10	42		
Високопореста	11	40		
	12	38		
	13	36		
	14	34		
	15	32		
	16	30		
	17	28		
	18	26		

По-едрозърнестите абразивни инструменти се изработват с по-плътна структура, например абразивни инструменти със зърнистост $14 \div 22$ се изработват със структура с номера $3 \div 4$, а инструменти със зърнистост $120 \div 150$ - със структура с номера $7 \div 8$ [50, 56].

Високопорестите абразивни инструменти се характеризират със значителна обемна порестост, достигаща $70 \div 75\%$ от обема на инструмента, и размери на порите до $2 \div 3 \text{ mm}$. Те имат *повишена режеща способност и производителност* (в сравнение с инструментите с нормална порестост), *по-слабо загряват обработвания детайл и го предпазват от прегаряния*. Голямата порестост дава възможност за активно отделяне на стружките и продължителна работа на абразивния инструмент без замазване. Тя позволява да се интензифицира процесът шлифование чрез някои прогресивни методи – подаване на СОТ през порите, интензивно шлифование, скоростно шлифование.

Е. Концентрация

Концентрацията е основен елемент на характеристиката на абразивните инструменти от свръхтвърди материали. Тя характеризира съдържанието на диаманти (респективно на CBN) в работния слой на инструмента. За 100% концентрация е прието съдържанието на 4,4 ct диаманти в 1 cm^3 от слоя, което представлява около 25% от неговия обем.

Концентрацията определя режещата способност на абразивните инструменти от свръхтвърди материали. С увеличаване на концентрацията на диаманти и CBN в работния слой се повишава трайността на инструментите и тяхната износоустойчивост, намаляват силите на рязане, повишава се производителността и се понижава себестойността на операциите.

7.3.3. Избор на характеристика на абразивните инструменти

А. Избор на абразивен материал

Абразивният материал на инструмента се определя в зависимост от вида на обработката, елементите на режима на рязане и физико-механичните свойства на обработвания материал (Таблица 7.4 [1, 50, 53, 56]).

Б. Избор на зърнистост

Изборът на зърнистост зависи от вида и характера на шлифовъчната операция, прибавката за обработване и материала на обработвания детайл (Таблица 7.5 [1, 50, 53, 56]). При предварително шлифование се избират едро-зърнести шлифовъчни дискове, а при чисто шлифование – дребнозърнести. Меките и жилави материали, показващи склонност към замазване, се обработват с по-едрозърнести инструменти, докато за твърдите материали са подходящи по-дребнозърнести.

В. Избор на свързка

Изборът на вида на свързката зависи от физико-механичните свойства на обработвания материал, характера на шлифовъчната операция и вида на абразивния материал.

Г. Избор на твърдост

Изборът на твърдост на абразивните инструменти зависи от свойствата на обработвания и абразивния материал, вида и условията на шлифване.

Таблица 7.4. Избор на абразивни материали

Абразивен материал	Област на приложение
Корунд	Инструменти за грубо абразивно обработване; дискове за шлифване на лагерни сачми; шлифовъчни тъкани и хартия; водещи дискове за безцентрово шлифване
Нормален електрокорунд	Инструменти за грубо почистване, предварително и окончателно шлифване на материали с голяма якост (стомани, ковък чугун, цветни метали и сплави - манганов бронз, месинг и др.)
Бял електрокорунд	Абразивни инструменти за окончателно шлифване на закалени бързорежещи, въглеродни и легирани стомани
Титанов електрокорунд	Абразивни инструменти за обработване на детайли от конструкционни и бързорежещи закалени стомани с голяма точност (инструменти за резбошлифване, зъбошлифване и др.); абразивни инструменти, подложени на ударни натоварвания
Хромен електрокорунд	Инструменти за предварително шлифване на въглеродни, предимно незакалени стомани; ударно и статично натоварени инструменти
Циркониев електрокорунд	Инструменти за грубо обработване и почистване при тежки режими на стоманени и чугунени детайли
Монокорунд	Инструменти за междинно и окончателно шлифване на високолегирани труднообработваеми стомани, мек бронз, керамика и др.
Зелен силициев карбид	Инструменти за шлифване и полиране на твърди сплави, огнеупорни (титанови) стомани, минерали, керамика и др.
Черен силициев карбид	Абразивни инструменти за обработване на метали с голяма якост на удар и материали с малка якост на опън (крехък бронз, мед, сив и избелен чугун, твърди сплави, алуминий и алуминиеви сплави, полупроводници, неметални материали, скални материали – гранит, мрамор, и др.)
Борен карбид	Абразивни пасти за шлифване и полиране на твърди сплави и инструментални стомани
Кубичен борен нитрид	Абразивни инструменти за междинно и фино шлифване на детайли от огнеупорни, неръждаеми и високолегирани конструкционни стомани ($62 \div 64 HRC$), топлочувствителни детайли, лети магнити, инструменти от бързорежещи стомани и др.
Синтетичен диамант	Инструменти за предварително и окончателно шлифване и полиране на твърдосплавни детайли и режещи инструменти; хонинговане на чугунени и стоманени детайли; рязане и обработване на полупроводници, оптично стъкло, ферити, кварц, технически камъни и др.; изработване на ножове от поликристални диаманти за струговане и разстъргване на твърдосплавни детайли
Природен диамант	Абразивни инструменти за предварително и окончателно шлифване и полиране на твърдосплавни детайли и режещи инструменти; диамантени ножове за обработване на твърди сплави и стомани; диамантени моливи, изравнители, ножове, игли и ролки за възстановяване на режещите свойства и за профилиране на абразивни дискове

Таблица 7.5. Избор на зърнистост на абразивните инструменти

Номер на зърнистост	Област на приложение	Номер на зърнистост	Област на приложение
10 ÷ 20	Почистване на чугунени отливки	60 ÷ 100	Окончателно и фино шлифование, профилно шлифование, заточване на малки и много-ръбови инструменти
14 ÷ 22	Почистване на стоманени отливки и заготовки; грубо шлифование	100 ÷ 220	Шлифование на резби, предварително хонинговане, притриване на инструменти
22 ÷ 36	Грубо плоско челно шлифование	220 ÷ 320	Окончателно резбошлифование и хонинговане, притриване
36 ÷ 46	Предварително кръгло външно, вътрешно, плоско и безцентрово шлифование на чугун и стомана; шлифование на цветни метали	> 320	Свърхзаглаждане, притриване и полиране
46 ÷ 120	Заточване на инструменти		
Забележка: Препоръчителните номера на зърнистост (по цоловата система) се отнасят за абразивни инструменти с керамична свързка			

При избора на твърдост на абразивния инструмент се спазват следните правила:

- ✓ Колкото по-твърд е обработваният материал, толкова по-мек трябва да е абразивният инструмент и обратно (Таблица 7.2) – при такава разлика в твърдостта се осигурява пълно или частично самозаточване на инструмента.
- ✓ Абразивните инструменти от монокорунд трябва да са с една-две степени по-твърди, когато се използват вместо инструменти от бял електрокорунд, а инструментите от бял електрокорунд – съответно с една степен по-твърди, когато се използват вместо дискове от нормален електрокорунд.
- ✓ Дребнозърнестите инструменти трябва да се избират по-меки от едрозърнестите при еднакви работни условия.
- ✓ Колкото по-тежък е режимът на шлифование (колкото скоростта на шлифование е по-малка и подаването на оборот или ход - по-голямо), толкова по-твърд трябва да е абразивният инструмент.
- ✓ Колкото по-голяма е контактната площ между инструмента и обработвания детайл, толкова по-мек трябва да бъде шлифовъчния диск.
- ✓ При работа на автоматични машини трябва да се използват по-меки с една или две степени абразивни инструменти в сравнение с тези, използвани за същите операции на машини с ръчно подаване. Колкото по-тежка и стабилна е шлифовъчната машина, толкова по-малка може да е твърдостта на абразивния инструмент.
- ✓ При шлифование с охлаждане се избират абразивни инструменти с една-две степени по-твърди, отколкото при работа без охлаждане.
- ✓ За да се запази профилът на абразивните инструменти, шлифоването на профилни повърхнини се извършва с по-твърди дискове.

- ✓ Шлифването на тънкостенни детайли се извършва с по-меки дискове, а за обработване на прекъснати повърхнини се използват по-твърди абразивни инструменти.

Д. Избор на структура

Изборът на структура зависи от физико-механичните свойства на обработвания материал и вида на шлифването (Таблица 7.3):

- ✓ За окончателно обработване и когато е необходимо продължително запазване на профила на инструмента (профилно шлифване), се използват абразивни инструменти с плътна структура.
- ✓ При кръгло външно и плоско шлифване се използват абразивни инструменти с 5 ÷ 6 номер структура, за вътрешно шлифване – инструменти с 6 ÷ 8 номер структура, а за отрезни операции – с 8 ÷ 9 номер структура.
- ✓ За заточване на режещи инструменти се използват абразивни дискове с открита структура, която спомага за по-добро отвеждане на стружките от зоната на рязане и намалява възможността за получаване на дефекти (пукнатини, грапавини, прегаряния) по заточвания инструмент. При заточване на инструменти от бързорежеща стомана с електрокорундови дискове най-голяма производителност и най-малко износване имат инструментите със структура номер 7 [8].
- ✓ За шлифване на твърди и крехки материали се препоръчва използването на абразивни инструменти с малки пори (с плътни структури с номера 4 ÷ 5), а за шлифване на меки и пластични материали – използването на инструменти с големи пори (с открити структури с номера 7 ÷ 8).
- ✓ За скоростно шлифване се използват абразивни дискове със структури с номера 9 ÷ 12.

Е. Избор на концентрация

Концентрацията се избира в зависимост от предназначението на инструментите. За предварително диамантено заточване и шлифване се препоръчват инструменти с концентрация 100 ÷ 150%. Резбошлифването на твърдосплавни инструменти се провежда с дискове със 150% концентрация, а профилното шлифване - с дискове с концентрация 150 ÷ 200%. Диамантените инструменти с метална свързка се използват обикновено с концентрация 100%, а за инструменти с органични свързки оптималната концентрация е 50 ÷ 100%.

Концентрацията на CBN в работния слой на инструментите, аналогично на диамантените инструменти, е 50%, 75%, 100% и 150%. Обикновено се използва концентрация 100%.

7.3.4. Маркиране на абразивни дискове от класически и свръхтвърди материали

Всеки абразивен инструмент има маркировка във вид на условни означения. В маркировката на шлифовъчния диск се указват всички показатели на характеристиката му: вид на абразивния материал; номер на зърнистост на абразивния материал; твърдост на инструмента; номер на структурата; вид на свързката; тип на свързката (Таблица 7.6).

Абразивните инструменти от свръхтвърди материали (с изключение на кръглите инструменти с малки размери) се състоят от тяло, изработено от стомана, алуминиева сплав, бронз или пластмаса, и работен слой с дебелина $1,5 \div 3\text{ mm}$, който съдържа диамантени зърна (респективно зърна *CBN*), свързка и пълнител. В маркировката на диамантения диск и на диска от *CBN* във вид на условни означения се указват: вид на абразивния материал; зърнистост; твърдост; концентрация; вид и модификация на свързката; дебелина на работния слой (Таблица 7.7).

Таблица 7.6. Маркировка на абразивни дискове по ISO

95	A	36				L			5		V	30
Абразивен материал		Зърнистост				Твърдост			Структура		Вид свързка	Мах допуста- тима скорост
Тип	Вид	Едра	Средна	Фина	Много фина	Меки	Сред ни	Твър ди				
95-нор- мален	А - елек- троко- рунд	8	30	70	220	A E	I M	Q V	1	9	V - кера- мична	от 25 до 100 m/s
		10	36	80	240	B F	J N	R W	2	10		
		12	46	90	280	C G	K O	S X	3	11	B - орга- нична	
		14	54	100	320	D H	L P	T Y	4	12		
Zr – цирко ниев		16	60	120	400			U Z	5	13	BF - орга- нична арми- рана	
		20		150	500				6	14		
		24		180	600				7	15		
99 – зелен	C - сили- циев карбид								8	16	R - вулка- нитова	
98 – черен											RF - вулка- нитова арми- рана	
											S - сили- катна	
											E - шел- лакова	

Таблица 7.7. Маркировка на диамантени дискове и на дискове от CBN по ISO

<i>M</i>	<i>D</i>	100	<i>P</i>	100	<i>B</i>	-	1/8
Абразивен материал		Зърнис- тост	Твърдост	Концентра- ция	Свързка	Модифи- кация на свързката	Дебелина на работния слой (in)
Тип	Вид						
произ- водст- вена марка	<i>D</i> - диамант	20	<i>A</i> (мек)	25 (ниска)	<i>V</i> - кера- мична	означава се с буква или с номер, когато не се използват стандартни свързки	1/16
		.	.	50			1/8
		.	.	75			1/4
	<i>B</i> – кубичен борен нитрид	.	.	100	<i>B</i> - орга- нична		(*този символ отсъства в маркировката на диамантените пасти)
		.	.	125			
		.	.	150			
		1000	<i>Z</i> (твърд)	175	<i>M</i> - метал- на		
				200 (висока)			

7.4. МАШИНИ ЗА ШЛИФОВАНЕ

Шлифовъчните машини са предназначени за чисто и окончателно обработване на ротационни (външни и вътрешни цилиндрични, конусни и профилни) повърхнини, равнинни повърхнини, резби, зъби на зъбни козла, за заточване на режещи инструменти и т.н. Към конструкцията на шлифовъчните машини се предявяват особено високи изисквания по отношение на точност, виброустойчивост, изнosoустойчивост, температурни деформации и др.

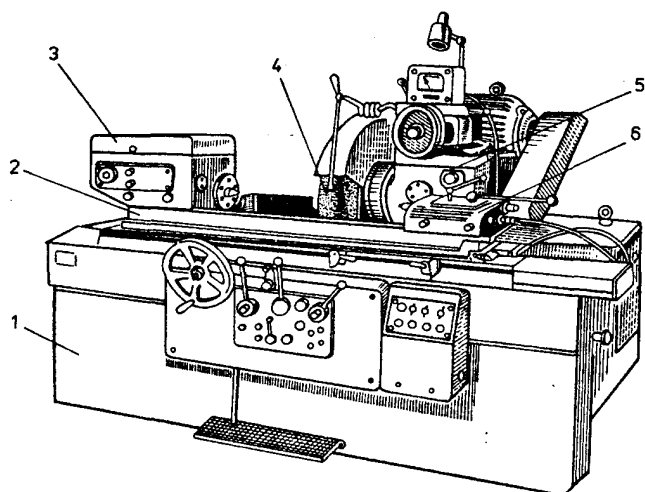
В зависимост от формата на обработваната повърхнина и вида на шлифване шлифовъчните машини се класифицират на *кръглошлифовъчни*, *плоскошлифовъчни* и *специални*. В зависимост от системата за управление шлифовъчните машини са с *конвенционална система за управление* и с *свс система с ЦПУ*.

7.4.1. Кръглошлифовъчни машини

Кръглошлифовъчните машини са предназначени за шлифване на цилиндрични, конусни, профилни, както и на челни повърхнини (Фиг. 7.14). Те се подразделят на два основни типа – *центрови* и *безцентрови*. От своя страна центровите машини могат да бъдат *универсални* (с възможности за външно и вътрешно кръгло шлифване) и *обикновени* (с възможности само за вътрешно или само за външно кръгло шлифване).

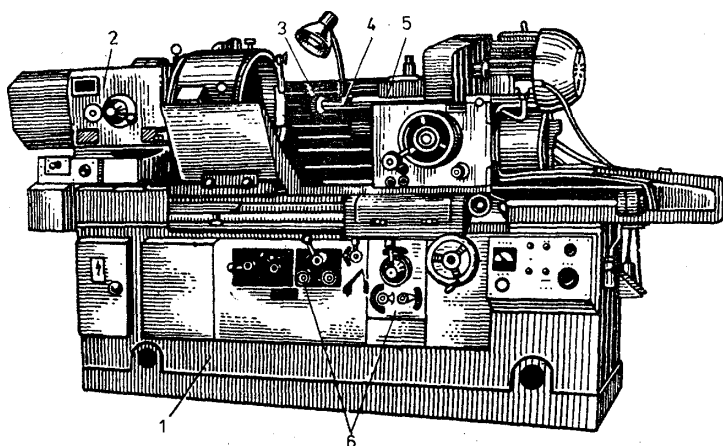
Кръглошлифовъчните машини се използват широко в машиностроенето, като повечето от тях работят като полуавтомати. Приложение намират и машини с напълно автоматизиран работен цикъл, снабдени с устройства за активен контрол, които дават възможност за коригиране на износването на инструмента и на възникнали при работа грешки.

Основни параметри на кръглошлифовъчните машини са максималният диаметър $d_{\max}$ и максималната дължина на обработвания детайл $L_{\max}$. За машините с общо предназначение тези стойности са в следните граници: $d_{\max} = 100 \div 160 \text{ mm}$; $L_{\max} = 150 \div 1250 \text{ mm}$.



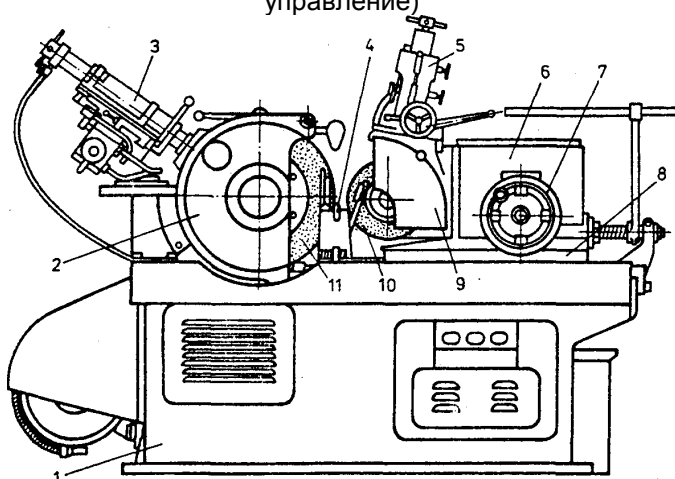
а – центрова кръглошлифовъчна машина за външно шлифване

(1 – тяло; 2 – маса; 3 – предно седло; 4 – шлифовъчен диск; 5 – шлифовъчна глава; 6 – задно седло)



б – кръглошлифовъчна машина за вътрешно шлифване

(1 – тяло; 2 – предно седло; 3 – шлифовъчен диск; 4 – вретено; 5 – шлифовъчна глава; 6 – устройства за управление)



в – безцентрова кръглошлифовъчна машина

(1 – тяло; 2 – предно седло; 3 – заточващо устройство; 4 – опорен нож; 5 – заточващо устройство; 6 – задно седло; 7 – маховик; 8 – плоча; 9 – въртяща глава; 10 – водещ диск; 11 – шлифовъчен диск)

Фиг. 7.14. Кръглошлифовъчни машини

Универсалните центрови кръглошлифовъчни машини имат възможност за преместване на масата и супортите за шлифване на конусна повърхнина, както и допълнителен механизъм за кръгло вътрешно шлифване.

При обикновените центрови кръглошлифовъчни машини за външно шлифване работната маса може да се завърта на ъгъл $\pm(5^\circ \div 6^\circ)$ (Фиг. 7.14 а).

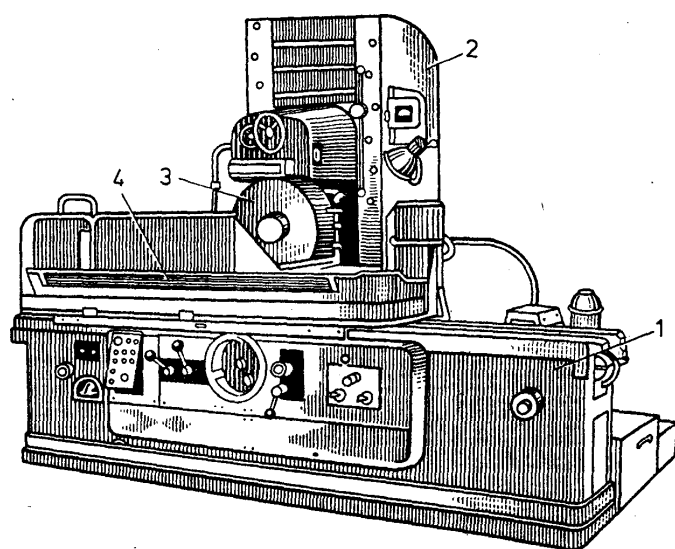
Технологичните възможности на машините за вътрешно шлифване (Фиг. 7.14 б) се свеждат до обработване на светли, глухи, стъпаловидни и профилни, цилиндрични и конусни отвори, както и на челни повърхнини. При тези машини абразивният диск извършва въртеливо движение и надлъжно подаване, което е успоредно на образуващата на обработваната повърхнина. Движенията на диска и детайла са самостоятелни и независими едно от друго. Освен това дискът периодично извършва напречно праволинейно движение, перпендикулярно на образуващата на обработваната повърхнина.

При вътрешно шлифване на по-големи детайли те не се въртят, а абразивният диск извършва планетно движение около оста на обработвания детайл, кръгово въртеливо движение около собствената си ос и възвратно-постъпателно движение по цялата дължина на детайла.

Безцентровите кръглошлифовъчни машини (Фиг. 7.14 в) са предназначени за шлифване на детайли със сравнително малки диаметри и с повърхнини без стъпала. Най-ефективни са за работа в едросерийното и масовото производство. Върху тях могат да се шлифват външни и вътрешни цилиндрични повърхнини.

7.4.2. Плоскошлифовъчни машини

Плоскошлифовъчните машини в зависимост от разположението на вретеното са с *хоризонтално* или *вертикално вретено*. При машините с *хоризонтално вретено* (Фиг. 7.15) шлифването се извършва с периферията на абразивния диск, а при тези с *вертикално вретено* – с челото на диска. И двата вида машини могат да бъдат снабдени с *правоъгълна* или *кръгла работна маса*. При машините с вертикално вретено се използват чашковидни, сегментни и други абразивни дискове.



Фиг. 7.15. Плоскошлифовъчна машина
1 – основа; 2 – колона; 3 – шлифовъчен диск;
4 – магнитна маса

За да се реализира схемата на рязане, плоскошлифовъчните машини трябва да имат механизми за главно въртливо движение, надлъжно и напречно подавателно движение, вертикално подавателно движение и за задвижване на масата на машината (при машини с кръгли маси).

Важно приложение в практиката намират и *надлъжношлифовъчните машини*. Те са предназначени за окончателно обработване на детайли с голяма дължина от типа на тела на стругове и други металоуреждащи машини.

Използват се в единичното и серийното производство. В зависимост от конструкцията се подразделят на *еднотойкови* и *двустойкови* (портални).

7.4.3. Специални шлифовъчни машини

Специалните шлифовъчни машини са предназначени за шлифване на резби, зъби на зъбни колела, шлицы и др.

Резбошлифовъчните машини в зависимост от своето предназначение се подразделят на *универсални*, *специални* и *безцентрови*.

Универсалните резбошлифовъчни машини се използват за шлифване на външни цилиндрични и конусни, предимно къси резби. На тях могат да се обработват и затиловани резби. Машините от този вид осигуряват $5 \div 6$ степен на точност на резбите. Използват се при обработването на резбови калибри, метчици, резбови фрези, валцовачи ролки и др. Резбошлифовъчните машини работят обикновено в полуавтоматичен цикъл, снабдени са с устройство за възстановяване на профила и режещата способност на абразивния диск.

Зъбошлифовъчните машини се различават главно по формата на

използваните шлифовъчни дискове, прилагания метод на зъбошлифоване и вида на шлифованите зъбни колела.

Машините, работещи *по метода на копиране* (Фиг. 7.5), намират по-ограничено приложение в практиката, въпреки че този метод е по-производителен. Точността на обработване зависи в голяма степен от точността на профилиране на инструмента, за което са необходими специални заточващи устройства.

По-широко приложение намират машините, работещи *по метода на обхождане*:

- *Зъбошлифоването по метода на обхождане с периодично делене* (Фиг. 7.6 а) по кинематика съответства на зъбостъргането, т.е. възпроизвежда се зацепване на зъбно колело със зъбен гребен. Формата на инструмента съответства на трапецовидния профил на зъбите на зъбния гребен.

- *Зъбошлифовъчните машини, работещи по метода Мааг*, обработват две срещуположни страни от профила на два различни зъба в едно или съседни междузъбия на зъбното колело с два чиниевидни шлифовъчни диска, работните повърхнини на които образуват зъб от зъбен гребен. Температурата на работа при този метод е ниска и шлифоването може да се извършва без охлаждане.

- При *зъбошлифовъчните машини, работещи по метода на обхождане с непрекъснато действие* (Фиг. 7.6 б), шлифовъчният диск има формата на червяк. Този метод е известен и под наименованието *винтово шлифоване с обхождане* и принципно е аналогичен на зъбофрезването. Чрез непрекъснатото зъбошлифоване се постига голяма производителност, но точността силно зависи от точността и качеството на инструмента.

7.4.4. Заточващи машини

Според начина на заточване заточващите машини се подразделят на машини за *абразивно заточване* и машини за *безабразивно заточване*. Машините от първата група имат по-голямо разпространение и приложение. На тях могат да се заточват почти всички видове режещи инструменти: стругарски ножове, свредла, метчици, райбери, фрези и др. Към втората група машини спадат машините, работещи на електроискров или анодно-механичен принцип.

7.5. ОБРАБОТВАНЕ НА ДЕТАЙЛИ ВЪРХУ ШЛИФОВЪЧНИ МАШИНИ С ЦПУ

Шлифовъчните машини с ЦПУ осигуряват висока производителност и качество на обработените повърхнини поради следните причини [25, 36]:

- напълно автоматизирано обработване на всички достъпни за обработване на дадената установка повърхнини;

- по-малко време за празни и спомагателни ходове (изпълняват се с *CNC* системата за управление);

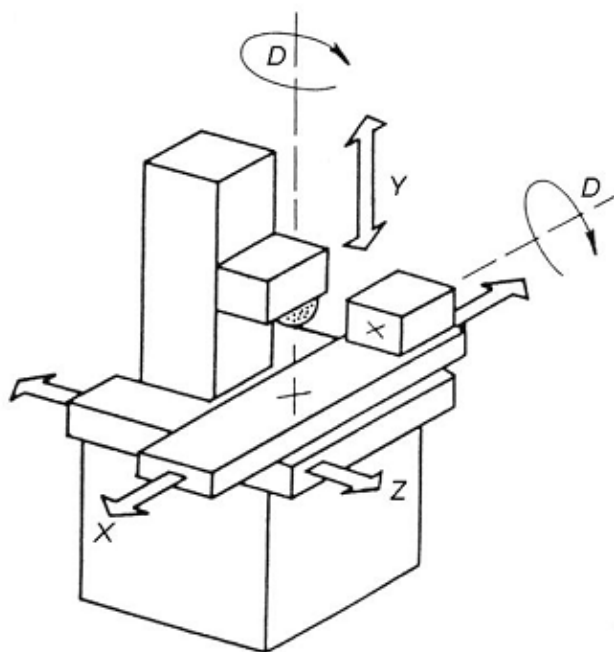
- използване на устройства за определяне на момента на докосване на шлифовъчния диск в обработвания детайл, което значително намалява времето на автоматичния цикъл;

- значително по-малко време за изправяне (заточване и профилиране) на шлифовъчния диск;

- използване на устройства за активен контрол;
- използване на многостепенни цикли (с вътрешно циклово заточване, с междинно и крайно отискряне) с практически неограничена сложност - води до повишаване на точността на формата в надлъжно и напречно сечение на обработвания детайл;
- по-често регламентирано изправяне на шлифовъчния диск, а в резултат поддържане на относително постоянна режеща способност и профил на инструмента – води до подобряване на грапавостта и физико-механичните свойства на обработените повърхнини;
- повишена надеждност на процесите и наличие на измервателна система – води до по-голяма точност на получаваните размери.

Наличието на *CNC* система за управление прави рентабилно използването на шлифовъчните машини в автоматичен цикъл и при неособено големи серии на обработваните детайли.

Работната зона на кръглошлифовъчните машини с ЦПУ е аналогична на тази на струговите машини с ЦПУ (ос *Z* съвпада с оста на въртене на детайла, а ос *X* – с направлението на движение на шлифовъчния супорт).



Фиг. 7.16. Плоскошлифовъчна машина с ЦПУ

При разработване на една шлифовъчна програмна операция основните етапи са аналогични на тези при разработване на технологична операция за конвенционална шлифовъчна машина. Броят на установките се определя в зависимост от големината на серията и броя на обработваните повърхнини. Елементите на режима на рязане и на характеристиката на абразивните инструменти се избират, както тези при обработване върху конвенционални шлифовъчни машини.

Шлифоването се разделя на грубо, чисто и фино, което изисква програмиране на различни скорости за движение. Точността на детайлите при шлифоване е голяма и повечето фактори, които влияят върху нея, не могат да бъдат отчетени от пътната измервателна система на машината. Затова се

управляемите оси, кръглошлифовъчните машини с *CNC* система за управление са с една ос, две оси (най-често срещаните) и с повече от две оси (при наличие на допълнителни управления за устройства и супорти).

Плоскошлифовъчните машини с ЦПУ се произвеждат с една, две и повече управляеми оси. Представената на фиг. 7.16 плоскошлифовъчна машина е с четири управляеми оси, като ос *D* се използва за ъглово позициониране на детайла, установен на масата на машината, или за управление на заточващо устройство [36].

При разработване на една

прилага активен контрол. Крайният размер на обработения детайл при шлифване зависи от положението на режещия ръб на абразивния диск и от продължителността на неговото въздействие върху детайла. Трябва да се отчете и фактът, че абразивният инструмент няма непрекъснат режещ ръб по неговата образуваща. Освен това режещите ръбове на хаотично разположените по повърхността му зърна нямат еднаква височина и в резултат на износване положението им се изменя непрекъснато, включително и след изправяне на диска, а от това зависи размерът на обработената повърхнина.

Съвременните кръглошлифовъчни машини с ЦПУ имат няколко десетки цикъла за шлифване на външни и вътрешни ротационни повърхнини. Циклите са вградени, когато системата за управление е специално проектирана за тези машини.

Примерната структура на цикъл за външно кръгло надлъжно шлифване включва: бързо подвеждане; ускорен ход, при който шлифовъчният диск докосва обработвания детайл, и прекъсване на подаването по ос X по сигнал от устройство за адаптивно управление на работния ход; грубо шлифване, което може да бъде с напречно подаване (в края на хода - отляво, отдясно или от двете страни); чисто шлифване с напречно подаване (само отляво или само отдясно на хода); отискряне в края на цикъла. Възможно е по хидравличен път в двата края на хода да се задава задържане, за да се намали влиянието на силовите деформации при врязване. В края на цикъла може да се зададе отдръпване на детайла за ръчно шлифване на челната повърхнина [25, 36].

Цикълът при шлифване чрез врязване е добре да включва допълнително фино шлифване и междинно отискряне за намаляване на отклоненията във формата в напречно сечение, получени от отклоненията във формата на обработвания детайл.

Цикълът при плоско многопроходно шлифване на детайл с широчина, по-голяма от широчината на диска, включва ускорено подвеждане на шлифовъчния диск, преход от ускорено на форсирано подаване, форсирано вертикално подаване, допиране на инструмента с детайла, надлъжно работно подаване след връщане на масата, грубо прекъснато подаване, грубо изправяне, корекция на координатите след изправянето, чисто прекъснато подаване, чисто изправяне, корекция на координатите след изправянето, чисто прекъснато подаване, заглаждане, връщане на инструмента в координатното начало за обработване на следващия детайл [25, 36].

Когато широчината на детайла е по-малка от широчината на диска, примерната структура на цикъла е ускорено подвеждане на шлифовъчния диск, преход от ускорено на форсирано подаване, форсирано вертикално подаване, грубо прекъснато подаване, грубо изправяне, корекция на координатите след изправянето, чисто прекъснато подаване, чисто изправяне, корекция на координатите след изправянето, чисто прекъснато подаване, заглаждане, връщане на инструмента в координатното начало за обработване на следващия детайл.

ИЗПОЛЗВАНИ ОЗНАЧЕНИЯ И СЪКРАЩЕНИЯ

Означение	Параметър
$a (a_p, a_e)$	Дълбочина на рязане (осова, радиална), mm
A, A_z, A_m	Площ на напречното сечения на срязвания слой - обща, срязвана от един зъб, средна, mm^2
A_γ	Предна повърхнина на режещ инструмент
A_α, A'_α	Задна повърхнина на режещ инструмент – главна и спомагателна
b	Широчина на срязвания слой, mm
b_c	Широчина на стружката, mm
b_ε	Широчина на фаската при върха, mm
B	Широчина на абразивен инструмент, mm Връх на ножа Широчина на масата на машина с ЦПУ, mm
c, c_1	Широчина на зоната на контакт по предната и задната повърхнина на режещия клин, mm
C	Единична технологична себестойност, $лв$
d	Диаметър на обработена повърхнина, mm Диаметър на заготовката при шлифване, mm
D	Диаметър на обработвана повърхнина, mm Диаметър на режещ (абразивен) инструмент, mm
e	Широчина на фрезване, mm
E	Работа, изразходвана при рязане, J
$f (f_n, f_v)$	Подаване (напречно подаване, подаване на дълбочина), $mm/rev, mm/дв.ход, mm/ход$
f_z	Подаване на зъб, mm/z
f_m	Минутно подаване, mm/min
F	Сумарна (резултантна) сила на рязане, N
F_c, F_p, F_f	Сили на рязане – главна (тангенциална), нормална (радиална), подавателна (осова), N
h	Дебелина на срязвания слой, mm
h_c	Дебелина на стружката, mm
i	Брой на ходовете
k_c, k_f, k_p	Относителна сила на рязане – главна, подавателна, радиална, N/m^2
K_l, K_h, K_b	Коефициенти на скъсяване, удебеляване и разширяване на стружката
KT, KB, KK, KM	Размери на износването по предната повърхнина на режещия клин, mm
l_p	Дължина на режещата част на режещ инструмент, mm

l_k	Дължина на калибровашката част на режещ инструмент, mm
L	Дължина на обработвана повърхнина, mm Дължина на режещ инструмент, mm
L_p	Дължина на работния ход, mm
M_c	Момент на рязане, Nm
n	Честота на въртене, честота на двойните ходове, min^{-1} , s^{-1}
P_c, P_f, P_m, P_e	Мощност на главното движение, мощност на подавателното движение, мощност на машина, работна мощност, kW
$P_r, P_s, P'_s, P_o, P'_o, P_p, P_f, P_n$	Координатни равнини – основна равнина, равнина на рязане, спомагателна равнина на рязане, равнина на главното сечение, равнина на спомагателното сечение, осова равнина, установъчна равнина, нормална равнина
$P_{re}, P_{se}, P_{oe}, P_{pe}, P_{fe}$	Работни равнини - основна равнина, равнина на рязане, равнина на главното сечение, осова равнина, установъчна равнина
Q	Топлина при рязане, J
r_ε	Радиус при върха на режещия клин, mm
Rz	Действителна височина на грапавините, μm
t_c	Време на рязане, s
T	Трайност на режещ (абразивен) инструмент, min
V_c	Скорост на рязане, m/min , m/s
V_e	Работна скорост, m/min , m/s
V_f	Скорост на праволинейно подавателно движение, m/min
V	Скорост на кръгово подавателно движение, m/min
V_d	Скорост на водещия диск при безцентрово шлифване, m/min , m/s
$VB_B, VB_{Bmax}, VB_C, VB_N$	Размери на износването по главната задна повърхнина на режещия клин, mm
VB_s	Износване по спомагателната задна повърхнина на режещия клин, mm
VB_k, KT_k	Критерии на износване, mm
W_c	Интензивност на процеса рязане, mm^3/min
z_e	Брой едновременно работещи режещи ръбове
Z	Големина на прибавката, mm
$\alpha_o, \alpha_p, \alpha_f, \alpha_n, \alpha'_o, \alpha_e$	Задни ъгли - главен, осов, страничен, нормален, спомагателен, работен
$\beta_o, \beta_p, \beta_f, \beta_n$	Ъгли на режещия клин - главен, осов, страничен, нормален
$\gamma_o, \gamma_p, \gamma_f, \gamma_n, \gamma_e$	Предни ъгли - главен, осов, страничен, нормален, работен
δ	Ъгъл на отклонение на подавателната скорост

	Моментен ъгъл
λ_s	Ъгъл на наклона на главния режещ ръб
η	Ъгъл на отклонение на работната скорост
θ	Температура на рязане, °C
$\theta_{\gamma m}, \theta_{\alpha m}$	Средна температура на предната и задната повърхнина на режещия клин, °C
$\kappa_r, \kappa_r', \varepsilon_r$	Установъчни ъгли - главен, спомагателен, ъгъл при върха
λ_s	Ъгъл на наклона на главния режещ ръб
μ	Коефициент на неравномерност Коефициент на триене
ρ_n	Радиус на закръгление на режещия ръб, mm
φ	Централен ъгъл между два зъба
ψ	Ъгъл на рязане (контактен ъгъл)
ω	Ъгъл на наклона на зъбите
COT	Смазочно-охлаждаща течност
МПИД	Машина-приспособление-инструмент-детайл
ЦПУ	Цифрово програмно управление
CBN	Кубичен борен нитрид
PCD	Поликристален диамант
PCBN	Поликристален кубичен борен нитрид

ЛИТЕРАТУРА

1. Александрова, И. Технологии за довършващо обработване в машиностроенето. Университетско издателство „В. Априлов”, Габрово, 2013.
2. Александрова, И. Рязане на материалите. УИ „В. Априлов”, Габрово, 2015.
3. Амирова, Ю. Технологичность конструкции изделия. Машиностроение, Москва, 1990.
4. Ананьян, В. Особенности эксплуатации абразивного, алмазного и эльборного инструмента. Машиностроение, Москва, 1976.
5. Ангелов, Н. Обработка на материалите и инструментална екипировка. Издателство на Технически университет – София, София, 2007.
6. Андонов, И. Рязане на материалите. Софтрейд, София, 2001.
7. Андонов, И., С. Сяров, П. Петков. Металорежещи машини и технология на машиностроенето. Техника, София, 1990.
8. Андрианов, А. Прогрессивные методы технологии машиностроения. Машиностроение, Москва, 1975.
9. Асенов, Д. Програмиране и настройка на металорежещи машини с цифрово програмно управление. Просвета, София, 2005.
10. Бакуль, В. Синтетические алмазы в машиностроение. Наукова думка, Киев, 1976.
11. Барановский, Ю. Режимы резания металлов. Машиностроение, Москва, 1972.
12. Бобров, В. Основы теории резания металлов. Машиностроение, Москва, 1975.
13. Братан, С., П. Новиков, Д. Сидоров. Теория резания. Практикум. Издательство СевНТУ, Севастополь, 2010.
14. Вачев, А. Рязане на материалите. Част 1: Геометрични, кинематични и технологични параметри на процеса рязане. ТУ-Пловдив, 2000.
15. Вачев, А. Рязане на материалите. Част 2: Физични явления и параметри на процеса рязане. ТУ-Пловдив, 2000.
16. Велчев, С. Рязане на металите. Русе, 1993
17. Велчев, С. Българо-английски речник – справочник по Рязане на материалите. ЕТ „НИКИ-Ивайло Начев”-Русе, Русе, 2009.
18. Геллер, Ю. Инструментальные стали. Металургия, Москва, 1983.
19. Горчакова, С., В. Килин, В. Тарасов. Обработка резанием. Мор. гос. Университет, Владивосток, 2006.
20. Грановский, Г., В. Грановский. Резание металлов. Высшая школа, Москва, 1985.
21. Диков, А. Технология на машиностроенето – общ курс. Софтрейд, София, 1992.
22. Зорев, Н., Г. Грановский, М. Ларин, Т. Лоладзе. Развитие науки о резание металлов. Машиностроение, М., 1967.
23. Иванов, В. Режещи инструменти. Издателски център при Русенски университет, Русе, 2012.
24. Иванов, И., Х. Христов. Металорежещи инструменти. Габрово, 1998.
25. Караколов, Л. Металорежещи машини и автоматизирани системи с програмно управление. Техника, София, 1990.
26. Кataloзи на фирма Sandvik Coromant; <https://www.sandvik.coromant.com/en-us/pages/default.aspx> - 29.06.2022.
27. Кataloзи на фирма ISCAR; <https://www.iscar.bg/newarticles.aspx/countryid/38/newarticleid/2393> - 29.06.2022.
28. Кataloзи на фирма Yg-1 Europe; <https://www.yg1.kr/support/catalog.asp> - 29.06.2022.
29. Кataloзи на фирма GUHRING; <https://www.guhring.com/Catalogs> - 29.06.2022.
30. Кataloзи на фирма SECO; <https://www.secotools.com/article/84565> (SECO tools interactive catalogues) - 29.06.2022.
31. Кataloзи на фирма Kennametal; <https://www.kennametal.com/us/en/home.html> - 29.06.2022.

32. Ковальчук, Ю. Развитие производства абразивного, алмазного и эльборного инструмента. Машиностроение, Москва, 1976.
33. Кожуро, Л., А. Панов, Э. Пономалева, П. Чистосердов. Отделочно-абразивные методы обработки. Справочное пособие. Вышэйшая школа, Минск, 1983.
34. Колев, С. Рязане на металите и металорежещи машини. Техника, София, 1978.
35. Кузманов, Т., К. Крумов. Техническа подготовка на производството, Екс-Прес, Габрово, 2013.
36. Кузманов, Т., Х. Метев. Технологични процеси за машини с ЦПУ, Екс-Прес, Габрово, 2007.
37. Кузнецов, Ю. Станки с ЧПУ. Выща шк., Киев, 1991.
38. Ловыгин, А., Л. Теверовский. Современный станок с ЧПУи CAD/CAM-система. ДМК Пресс, Москва, 2012.
39. Македонски, А. Рязане на материалите. Издателство на ТУ-София, София, 2011.
40. Маслов, А. Приспособления для металлообрабатывающего инструмента.. Машиностроение, Москва 2008..
41. Маслов, Е. Теория шлифования материалов. Машиностроение, Москва, 1974.
42. Найденов, А., Й. Митев. Металорежещи машини с цифрово програмно управление. ТУ-Габрово, 2010.
43. Ненков, Н.Г., И.С. Александрова. Технология на инструменталното производство. Габрово, ПБ на ТУ-Габрово, Габрово, 1996.
44. Ненков, Н., И. Александрова. Технологични процеси и системи в машиностроенето. Университетско издателство „Васил Априлов”, Габрово, 2006.
45. Николчева, Г. Режещи инструменти, София, 2001.
46. Осипова, И., Е. Шведков. Режущая керамика 1985-1990. Киев, 1992.
47. Островский, В. Теоретические основы процесса шлифования. Издательство Ленинградского университета, Ленинград, 1981.
48. Пашов, С. Справочник на технолога по механична обработка, Том 1 и 2, Техника, София, 1989.
49. Попов, Г. Металорежещи машини, част 1: Приложимост, устройство и управление. ТУ-София, 2009.
50. Попов, К., Х. Берлинов. Съвременни шлифовъчни инструменти. С., Техника, 1985.
51. Попов, С. Рязане на металите. Техника, София, 1983.
52. Попов, С. Шлифовальные работы. Высшая школа, Москва, 1987.
53. Резников, А. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник. Машиностроение, Москва, 1977.
54. Сибикин, М. Современное маталлообрабанывающие оборудование. Справочник. Директ-Медиа, Москва; Берлин, 2020.
55. Солоненко, В., А. Рыжкин. Резание металлов и режущие инструменты. Высшая школа, Москва, 2008.
56. Стоев, Ж., К. Попов, Н. Тодоров. Абразивна обработка на металите. С., Техника, 1979.
57. Събчев, П. Металорежещи инструменти. Техника, София, 1982.
58. Угринов, П. Програмиране на стругови машини с ЦПУ. Авангард Прима, София, 2016.
59. Угринов, П. Обработващи центри за високоскоростна обработка. Авангард Прима, София, 2013.
60. Угринов, П. Програмиране и настройване на металорежещи машини с ЦПУ. Издателство на ТУ-София, София, 2008.
61. Угринов, П. Комплексна интерполация при високоскоростна, квазисуха и твърда обработка върху металорежещи машини с ЦПУ – класификационен анализ. - Сборник с доклади от XVIII ННТК с международно участие АДП – 2009, Созопол, 2009, 143-149.
62. Филоненко, С. Резание металлов. Техніка, Киев, 1975.

63. Ящерицын, П., Е. Фельдштейн, М. Корниевич. Теория резания, Минск 000 „Новое знание”, Москва. 2007.
64. Boothroyd, G., W. Knight. Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools, Taylor & Francis Group. USA, 2006.
65. Brozek, M. Cutting conditions optimization when turning overlays. Journal of Materials Processing Technology, 2005, 168, 488–495.
66. Catalogue. Diamond & CBN Grinding wheels. Catalogue. ASAH Diamond.
67. Catalogue. Abrasive tools. Product catalogue. ANDRE Abrasive articles.
68. Cutting Tools, Main Catalogue, CERATIZIT, 2014.
69. Crandell, T., D. Gibbs ·CNC Machining and Programming: An Introduction. Industrial Press, 2003.
70. Edwards, R. Cutting Tools. Institute of Materials, London, 1993.
71. Juneja, B., G. Sekhon. Nitin Seth. Fundamentals of Metal Cutting and Machine Tools. New Age International Ltd, New Delhi, 2005.
72. Hagiwara, M., S. Chen, I. Jawahir. Contour finish turning operations with coated grooved tools: Optimization of machining performance. Journal of materials processing technology. 2009, 209 (1), 332-342.
73. Malkin, S., I. Guo. Grinding technology. Theory and application of Machining with Abrasives. Industrial Press Inc, New York, 2008.
74. Pabla, B., M. Adithan. CNC Machines. New Age International Publishers, 2012.
75. Schneider, G. Cutting Tool Application. Tooling & Production.
76. Smith, G. Cutting Tool Technology: Industrial Handbook, Springer Verlag, London, 2008.
77. Smith, G. CNC Machining Technology: Volume I: Design, Development and CIM Strategies. Springer Verlag, London Limited, 1993.
78. Smith, G. CNC Machining Technology: Volume II Cutting, Fluids and Workholding Technologies. Springer Verlag, London Limited, 1993.
79. Stephenson, D., J. Agapio. Metal cutting theory and practice. Taylor & Francis Group. USA, 2011.
80. Stoev, L. Maschinenkunde (Werkzeugmaschinen, Fertigungsverfahren, Werkzeuge), Band 1, TU-Sofia, Sofia, 2004.
81. Stoev, L. Maschinenkunde (Werkzeugmaschinen, Fertigungsverfahren, Werkzeuge), Band 2, TU-Sofia, Sofia, 2004.
82. Toenshoff, H., B. Denkena. Basics of Cutting and Abrasive Processes. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2013.
83. Trent, E. Metal Cutting. Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, 1991.
84. Youssef, H., H. El-Hofy. Traditional Machining Technology: Machine Tools and Operations. CRC Press, 2020.
85. http://epubl.tugab.bg/home/cat_view/41 - Киров, К. Проектиране и експлоатация на режещи инструменти. Електронно издателство на ТУ-Габрово.
86. <http://www.ugrinov.com/> - Металорежещи машини с ЦПУ (29.06.2022 г.)
87. <http://www.rais-bg.com/machines/group/1> - CNC стругове (29.06.2022 г.)
88. <https://vys-tech.ru/2017/10/08/rezbofrezerovanie/> - Резьбофрезерование (29.06.2022 г.)
89. <https://cncmagazine.ru/polezno-znat/narezanie-rezby-korpusnymi-rezbovymi-frezami-cncm.-rekomendacii-raschety-primery-programmy-chpu/> - Нарезание резьбы корпусными резбовыми фрезами CNCM. Рекомендации, расчеты, примеры программы ЧПУ (29.06.2022 г.)
90. <https://elionmost.ru/erlo> - Агрегатни вертикални пробивни машини (30.03.2023 г.)

СЪДЪРЖАНИЕ

Глава първа	3
ОСНОВИ НА МЕХАНИЧНОТО ОБРАБОТВАНЕ	
1.1 Основни понятия и определения в технологията на машиностроенето	3
1.1.1. Машиностроително изделие	3
1.1.2. Производствен процес	5
1.1.3. Технологични процеси	6
1.1.4. Типове машиностроително производство	9
1.1.5. Форми на организация на производството	11
1.2 Процеси на рязане	11
1.2.1. Същност и класификация на процесите на рязане	11
1.2.2. Кинематична характеристика на процеса на рязане	15
1.2.3. Стружкообразуване и видове стружки	20
1.2.4. Сили, мощност и топлинни явления при рязане на материалите	25
1.3 Режещи инструменти с дефинирана режеща част	39
1.3.1. Видове режещи инструменти и изисквания към тях	39
1.3.2. Основни конструктивни елементи на режещите инструменти	41
1.3.3. Геометрия на инструменти с дефинирана режеща част	46
1.3.4. Инструментални материали	56
1.3.5. Многоръбови пластини – класификация и означение	65
1.3.6. Износване и трайност на режещите инструменти	66
Глава втора	74
МЕТАЛОРЕЖЕЩИ МАШИНИ	
2.1 Металорежещи машини – класификация, означение, изисквания и тенденции в развитието	74
2.1.1. Класификация и означение на металорежещите машини	74
2.1.2. Изисквания и тенденции в развитието на металорежещите машини	75
2.2 Движения на металорежещите машини и формообразуване	77
2.2.1. Видове движения на металорежещите машини	77
2.2.2. Формообразуване	78
2.3 Основни възли на металорежещите машини	79
2.3.1. Преводи – видове, структура и задвижване	79
2.3.2. Носеща система	82
2.3.3. Работни органи	82
2.3.4. Устройства за управление, контрол и измерване	83

2.4	Металорежещи машини с програмно управление	83
2.4.1.	<i>Класификация и области на приложение на металорежещите машини с програмно управление</i>	83
2.4.2.	<i>Характеристика и технологични възможности на металорежещите машини с програмно управление</i>	86
2.4.3.	<i>Системи за ЦПУ</i>	91
2.4.4.	<i>Координатни системи, координатно и работно пространство</i>	95
Глава трета		98
СТРУГОВАНЕ		
3.1	Технологични възможности	98
3.2	Режим на рязане	99
3.3	Стругарски ножове	101
3.3.1.	<i>Стругарски ножове с общо предназначение</i>	101
3.3.2.	<i>Профилни ножове</i>	106
3.4	Стругови машини – видове и предназначение	108
3.4.1.	<i>Универсални стругове</i>	108
3.4.2.	<i>Продукционни стругове</i>	110
3.4.3.	<i>Копирни стругове</i>	110
3.4.4.	<i>Револверни стругове</i>	111
3.4.5.	<i>Каруселни стругове</i>	112
3.4.6.	<i>Стругови автомати и полуавтомати</i>	112
3.4.7.	<i>Стругове с ЦПУ</i>	114
3.5	Обработване на детайли върху стругови машини с програмно управление	117
Глава четвърта		123
ОБРАБОТВАНЕ НА ОТВОРИ		
4.1	Свредловане, зенкерование и райберование	123
4.1.1.	<i>Технологични възможности</i>	121
4.1.2.	<i>Режим на рязане</i>	125
4.1.3.	<i>Режещи инструменти за обработване на отвори</i>	128
4.2	Разстъргване на отвори	145
4.2.1.	<i>Технологични възможности</i>	145
4.2.2.	<i>Разстъргващи инструменти</i>	147
4.3	Пробивни и пробивно-разстъргващи машини	150
4.3.1.	<i>Вертикални пробивни машини</i>	150
4.3.2.	<i>Радиални пробивни машини</i>	151
4.3.3.	<i>Хоризонтални пробивно-разстъргващи машини</i>	151
4.3.4.	<i>Координатни пробивни машини</i>	152
4.3.5.	<i>Агрегатни машини</i>	152

4.4	Установяване на режещите инструменти към пробивни и пробивно-разстъргващи машини	153
4.5	Обработване на отвори върху машини с програмно управление	155
Глава пета		157
ФРЕЗОВАНЕ		
5.1	Технологични възможности	157
5.2	Режим на рязане	159
5.3	Режещи инструменти за фрезование	168
	5.3.1. Конструктивни и геометрични елементи на фрези	168
	5.3.2. Видове фрези	169
5.4	Фрезови машини – видове и предназначение	176
	5.4.1. Конвенционални фрезови машини	177
	5.4.2. Фрезови машини с ЦПУ	179
5.5	Установяване на обработвани детайли и на режещи инструменти към фрезови машини	181
	5.5.1. Установяване на обработвани детайли	181
	5.5.2. Установяване на режещи инструменти	184
5.6	Обработване на детайли чрез фрезование върху машини с програмно управление	187
Глава шеста		192
ОБРАБОТВАНЕ НА РЕЗБИ		
6.1	Технологични възможности	192
6.2	Методи и инструменти за нарязване на резби	193
	6.2.1. Нарязване на резби с резбонарязващи ножове и гребени	193
	6.2.2. Нарязване на резби с метчици, плашки и резбонарязващи глави	194
	6.2.3. Фрезование на резби	198
6.3	Методи и инструменти за обработване на резби чрез пластично деформиране	200
6.4	Обработване на резби върху машини с ЦПУ	203
	6.4.1. Обработване на резби чрез струговане	203
	6.4.2. Обработване на резби чрез фрезование	206
Глава седма		212
ШЛИФОВАНЕ		
7.1	Технологични възможности	212
	7.1.1. Кръгло шлифование	213
	7.1.2. Плоско шлифование	220
	7.1.3. Профилно шлифование	222
	7.1.4. Лентово шлифование	225

7.2	Режим на рязане	227
7.2.1.	<i>Режим на рязане при твърдо шлифоване</i>	227
7.2.2.	<i>Режим на рязане при лентово шлифоване</i>	229
7.3	Абразивни инструменти	230
7.3.1.	<i>Класификация на абразивните инструменти</i>	230
7.3.2.	<i>Характеристика на абразивните инструменти</i>	233
7.3.3.	<i>Избор на характеристика на абразивните инструменти</i>	245
7.3.4.	<i>Маркиране на абразивни дискове от класически и свръхтвърди материали</i>	248
7.4	Машини за шлифоване	250
7.4.1.	<i>Кръглошлифовъчни машини</i>	250
7.4.2.	<i>Плоскошлифовъчни машини</i>	252
7.4.3.	<i>Специални шлифовъчни машини</i>	252
7.4.4.	<i>Заточващи машини</i>	253
7.5	Обработване на детайли върху шлифовъчни машини с ЦПУ	253
	ИЗПОЛЗВАНИ ОЗНАЧЕНИЯ И СЪКРАЩЕНИЯ	256
	ЛИТЕРАТУРА	259

проф. д-р инж. Ирина Стефанова Александрова

CNC МАШИНИ, ИНСТРУМЕНТИ И ТЕХНОЛОГИИ

Българска
Първо издание

Рецензент: доц. д-р инж. Христо Цанев Метев

Формат: B5
Печатни коли: 16,6
Тираж: 100

Печат: Университетско издателство „Васил Априлов”
ISBN 978-954-683-680-9