

Йосиф МИТЕВ
Христо ЯКИМОВ Христиан МИТЕВ

**ПРОГРАМИРАНЕ НА МЕТАЛОРЕЖЕЩИ
МАШИНИ С ЦИФРОВО ПРОГРАМНО
УПРАВЛЕНИЕ**

Габрово
2024

Йосиф МИТЕВ

Христо ЯКИМОВ

Христиан МИТЕВ

ПРОГРАМИРАНЕ НА МЕТАЛОРЕЖЕЩИ
МАШИНИ С ЦИФРОВО ПРОГРАМНО
УПРАВЛЕНИЕ



УНИВЕРСИТЕТСКО ИЗДАТЕЛСТВО
"ВАСИЛ АПРИЛОВ"
ГАБРОВО, 2024

Учебникът е създаден с цел придобиване на теоретични и практически знания по програмиране на металорежещи машини с цифрово програмно управление. Насочен е за обучение на студенти от ОКС „професионален бакалавър“ и ОКС „бакалавър“ от специалности КТМ, М, ИТГС, ДТТТ, ИМ и други специалности от ТУ – Габрово, както и от други висши учебни заведения по дисциплини „САМ и CNC производствени системи“, „Програмно управление на технологичното оборудване“ и др.. Също така учебникът цели опресняване на знания при ОКС магистър и придобиване на нови знания от студенти със завършен ОКС бакалавър от различна специалност и обучаващи се в ОКС магистър. Учебникът е със силно приложен характер, което позволява използването му от програмисти, настройчици, оператори и технолози от машиностроителни фирми и предприятия

Използвани съкращения

УП – Управляваща програма

РКС – Работна координатна система

МКС – машинна координатна система

ОТ – Опорна точка

ИТ – Изходна точка

Автор: доц. д-р инж. Йосиф Митев Митев

Автор: гл. ас. д-р инж. Христо Христов Якимов

Автор: гл. ас. д-р инж. Христиан Йосифов Митев

© Университетско издателство “Васил Априлов” – Габрово, 2024

ISBN: 978-954-683-714-1

ГЛАВА 1

ОСНОВИ НА CNC ПРОГРАМИРАНЕТО

1.1. ОБЩИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА МЕТАЛОРЕЖЕЩИТЕ МАШИНИ С ЦПУ

Развитието на техническият прогрес позволи изработването на персонализирани изделия, с определено от потребителите качество, при възможно най-малки производствени разходи. Този подход е в противоречие с стремежа на производителите към производства, гарантиращи големи обеми еднотипна продукция - масови и едросерийни. Налагат се гъвкави и адаптивни към бързо променящите се условия на пазара и потребителското търсене производства. Решенията удовлетворяващи тези взаимно противоречиви изисквания почиват на автоматизация на конструктивното и технологичното проектиране чрез CAD-CAM системи и използване на програмни машини с висока степен на концентрация на операциите.

Развитието на обработващите машини с цифрово програмно управление (ЦПУ) позволи създаването на принципно нови технологии основаващи се на процеси, както за отнемане на материал, така и чрез добавяне (принтиране). Общите им характеризиращи включват: формообразуване и размерообразуване без пряко участие на човека; висока степен на автоматизация; висока гъвкавост; лесно вграждане в комплекси с централно управление и реализиране на безлюдни технологии.

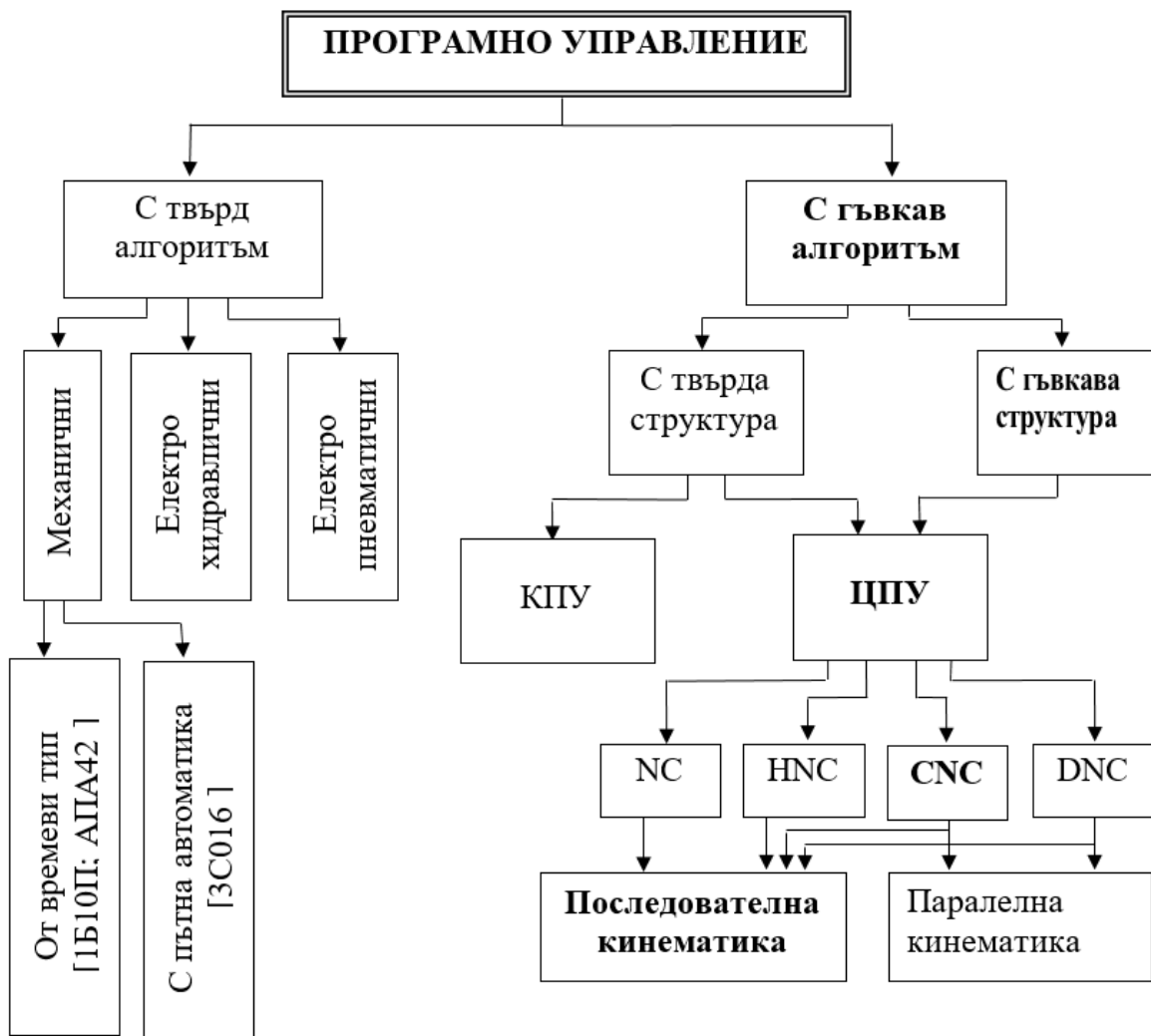
Съчетаването на висока гъвкавост с висока степен на автоматизация при машините с ЦПУ, им дава съществено превъзходство, както пред универсалните машини, така и пред металорежещите автомати с кинематично или друго управление. Това определя широката област на икономически ефективно приложение на машините с ЦПУ.

Съвременните машини с ЦПУ стават все по-сложни, с обогатяващи се кинематични и технологични възможности за комплексно обработване на детайлите. Това ново качество е добило израз в наименованието им „обработващи центри“ или „многоинструментални машини“. Така една машина, при едно установяване на детайла, може да изпълни разнообразни по характер обработки (пробиване, фрезование, разстъргване и др.), както и контрол.

Важна характеристика са и кинематичните възможности, изразяващи се в броя едновременно управлявани премествания (D) на работните органи и детайла. Диапазонът е твърде висок от 2.5D при обикновените стругови и фрезови машини, 3D до 5D при обработващите центри и много повече при специални машини.

1.1.1. ВИДОВЕ СИСТЕМИ ЗА ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ

Опити за автоматизация на тежкия и не особено производителен труд при обработката на различни материали съществуват от времето на създаване на първите машини за тази цел. Използвани са шаблони, копия и най-различни по конструкция и принцип на действие приспособления, които днес могат да се видят в етнографски паркове и музеи. Показаната на фиг.1.1 схема показва основните принципи, използвани за автоматизация на производствени процеси в металообработването през последните сто години.



Фиг. 1.1. Видове системи за програмно управление

В схемата на фиг.1.1 под твърд алгоритъм се разбира алгоритъм, за промяната на които е необходимо изменение в механиката на машината. При гъвкавия алгоритъм промяната става с програмни средства.

Под твърда структура се разбира структура, в която всеки възел на системата е създаден за изпълнение на конкретна обработка. При гъвкава

структура един и същ възел може да изпълнява различни обработки, в зависимост от програмата, която се изпълнява в момента.

Металорежещи автомати с механично управление се появяват в края на 19 в., като достигат връх на разпространението и използването им в периода между двете световни войни. Разработени са различни механични системи за управление – с централен разпределителен вал, със старт-стоп синхронизация на няколко разпределителни вала, с няколко вретена и много други. При използване на разпределителни валове за всяка обработка или преход, включена в цикъла се отделя време, определено чрез ъгъл на завъртане на разпределителния вал. При друга голяма група механични автомати не времето, а пътят, който изминава определено звено на машината е определящ за изпълнение на текущия такт на програмата. Такъв алгоритъм се прилага при машини с последователно управление с пътна автоматика.

Под кинематично програмно управление (КПУ) се разбира система, в която технологичната информация се въвежда чрез програмоносител, а размерната – чрез командни гърбици, разположени върху лайсни или барабани. Като програмоносител са използвани щекерни панели. Този тип управление е използван в периода 1950 – 1980 г.

При цифрово програмно управление (ЦПУ), както технологичната, така и размерната информация се въвеждат чрез програмоносител. В първите машини от тази група програмоносител е перфолента с широчина 1 inch и осем информационни пътеки. Перфолентата е и основното запамяващо устройство в системите от това време – тя съхранява програмата. Управлението в този случай е от клас NC (Numerical Control). Следователно NC системите нямат памет, поради което корекции и допълнения към програмата изискват нова перфолента. Пултът за ръчно въвеждане на данни не е развит.

В системите от клас HNC (Hand NC) е добавена памет, развит е пулт за ръчно въвеждане на команди и корекции, като при тях системата има твърда структура.

Съвременните системи за управление имат организация, използвана при компютрите (Computer NC) – типично гъвкава структура. Една система за управление от клас CNC съдържа няколко процесора – броят им зависи от типа на управляваната машина и сложността на изпълняваните функции.

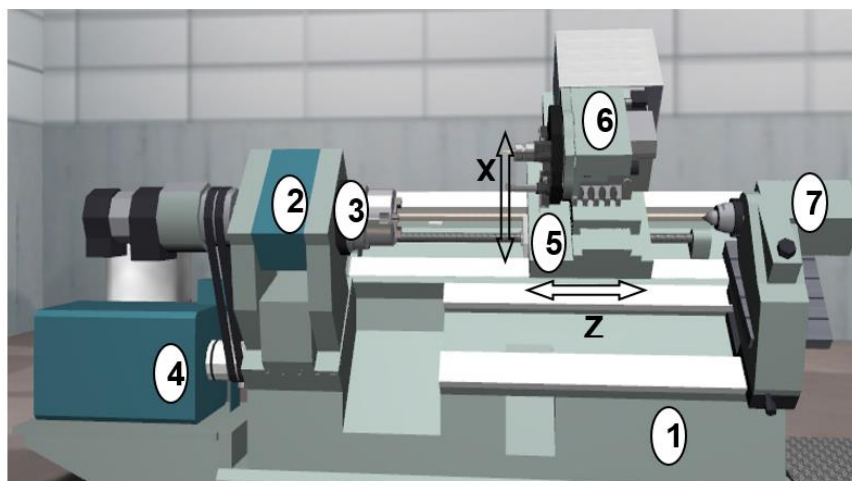
DNC (Direct NC) е режим на работа, който обединява няколко металорежещи машини, всяка с управление от клас CNC и един централен компютър, който има функции за създаване и архив на програмите и за диспечер. Металорежещата машина може да бъде и само една.

Нарастващите възможности на съвременните системи за управление направи възможно развитието на нови концепции за металорежещи машини, които не могат да се реализират с конвенционални средства. Пример за това са металорежещите машини с паралелна кинематика, разработвани и внедрявани в последните двадесетина години.

1.1.2. СТРУКТУРА НА МЕТАЛОРЕЖЕЩИТЕ МАШИНИ С ЦПУ

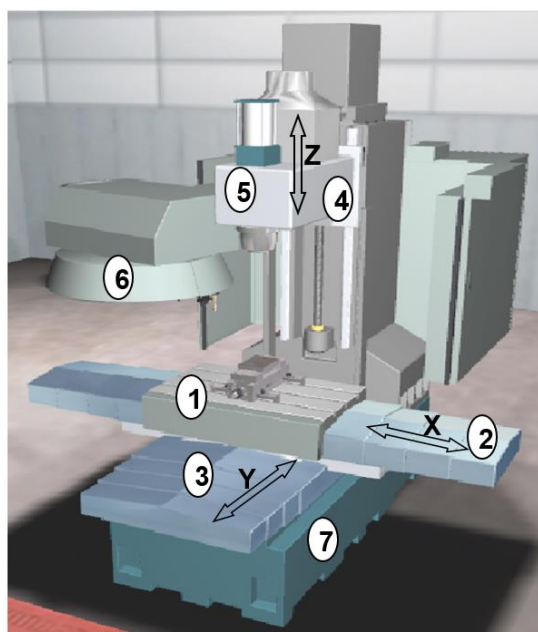
Развитието на системите за задвижване промениха коренно концепциите за изграждане на съвременните металорежещи машини. Предимство имат прости решения с къси кинематични вериги и широки диапазони за регулиране на параметрите. Използват се предимно решения с последователни структури, но редица производители развиват все по-успешно и паралелни структури. По отношение на специализацията, превес имат универсалните машини с висока степен на концентрация на операциите, но се развиват и множество специализирани и специални машини с ЦПУ. Традиционното разделяне на стругови и фрезови машини все повече се заличава, като технологичните възможности на струговите машини се разширяват с вграждането на фрезови вретена за изпълнение на пробивни и фрезови операции върху ротационни детайли. Развитие имат и традиционните фрезо-пробивни обработващи центри, като при тях задвижването на ос А, В или С е аналогично на вретеното, което позволява въртене на детайла и струговане на повърхнини.

Структурно машините с ЦПУ се изграждат от отделни възли със самостоятелно задвижване. Типичната стругова машина с последователна структура (фиг.1.2) е изградена от тяло 1, върху което са закрепени основните възли на струга - предното седло 2 с вретеното 3, задвижвано от двигателя 4, задното седло 7 и надлъжния супорт 5, осъществяващ движението по ос Z. Върху супорта 5 е монтиран напречният супорт X с револверната глава 6, носеща определен комплект инструменти. Тази структура позволява обработване основно на ротационни детайли. Технологичните и възможности могат да се разширяват с вграждането в револверната глава на фрезови вретена за изпълнение на пробивни и фрезови обработки върху челните и цилиндричните повърхнини на ротационните детайли.



Фиг. 1.2. Общ вид на стругова машина с ЦПУ

При пробивно-фрезовите обработващи центри съществува значително по-голямо многообразие от структурни решения, за което спомага големият брой работни движения (оси). Прилагат се както хоризонтални, така и вертикални решения за разположение на вретеното, а масите са предимно кръстообразни, по рядко конзолно разположени към тялото. При вариант с вертикално разположено вретено 5 (фиг.1.3), оста Z съвпада с движението на вретеното по колоната 4 на машината. Обработваният детайл се разполага върху масата 1, носена от модула 2, осъществяващ движение по ос X, който от своя страна е разположен върху модула 3, за движение по ос Y. Двата кръстообразно разположени модула X и Y са установени към корпуса 7. Към колоната 4 е разположен магазинът за инструменти 6 и манипулатор за смяната им.



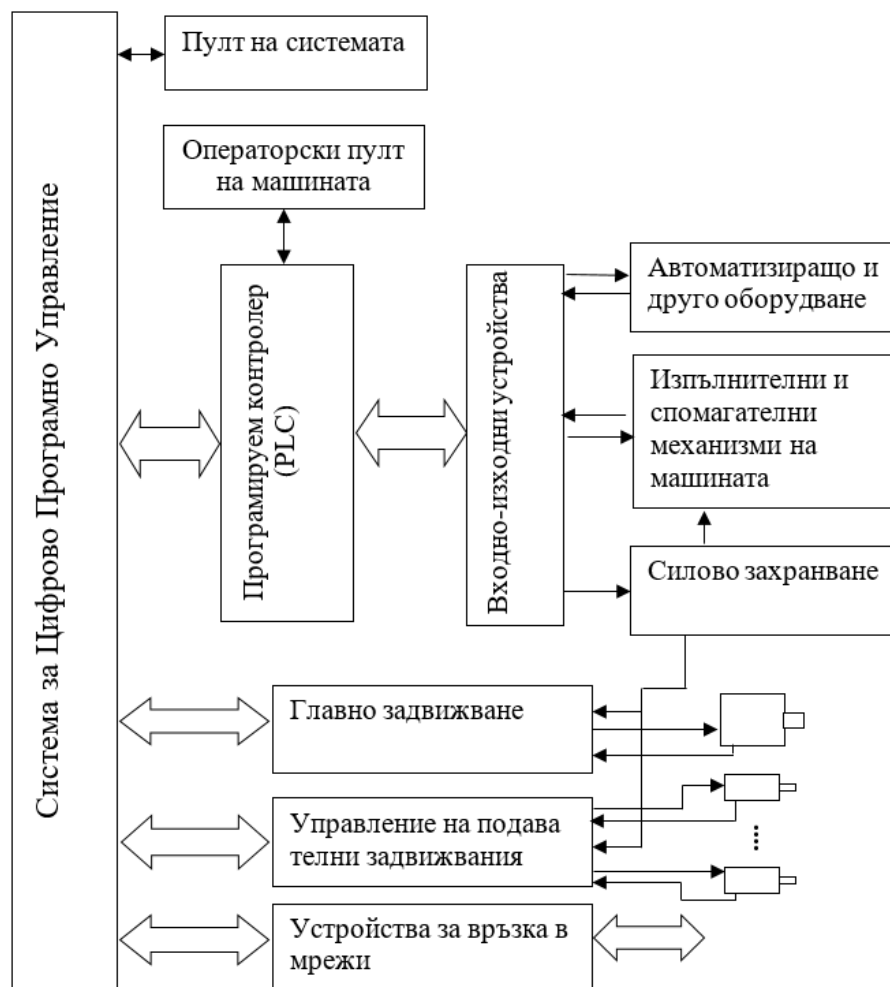
Фиг. 1.3. Общ вид на вертикален обработващ център

Съвременните CNC машини се изграждат по-често с повече от 3 оси (4 или 5), като те могат да контролират движенията на инструмента синхронно по 5-те си оси (3 линейни + 2 въртящи се). Двете въртящи се оси могат да бъдат както във веригата на инструмента, така и на масата и съответно определят различни кинематични решения.

1.1.3. СТРУКТУРА НА СИСТЕМАТА ЗА ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ

Структурата на една съвременна система за ЦПУ от клас CNC включва възли, показани в обобщен вид на фиг.1.4.

Блокът, означен като „Система за цифрово програмно управление” заема централно място в общото управление на всички дейности в металоурежещата машина. Той е компютърна конфигурация с гъвкава структура. Процесорът осигурява изпълнението на програмата, като комуникира с няколко типа памети и набор от входно-изходни устройства.



Фиг. 1.4. Структурна схема на системата за програмно управление

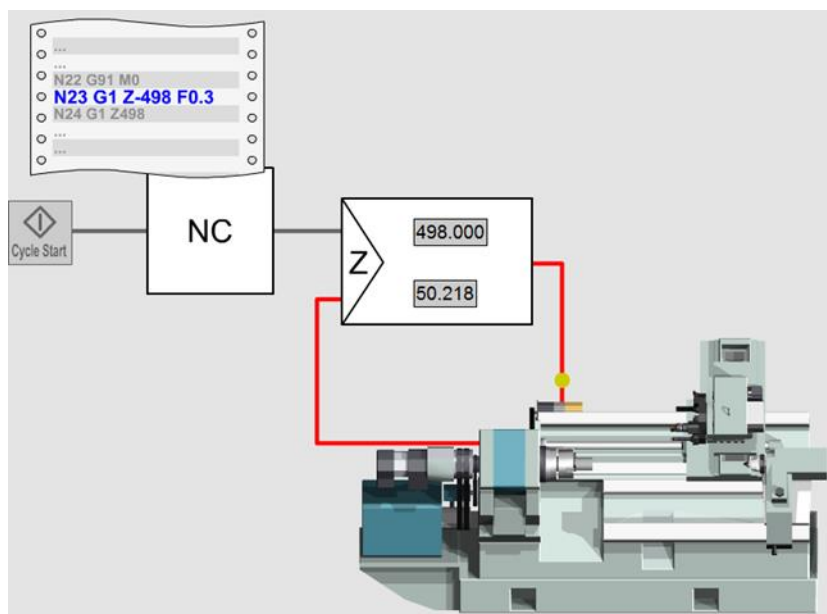
Част от дейността на процесора е изчисление на координатите на всички междинни точки при съгласувано преместване по няколко координатни оси (интерполиране). Освен това системата за ЦПУ управлява съответните задвижвания за достигане на тези точки, поради което блоковете за управление на главното и подавателните задвижвания са свързани със системата.

Пултът на системата дава възможност да се въведат ръчно една или няколко команди, пасаж или цяла програма. Чрез него може да се коригират команди, да се избере режим на работа и още много други дейности за обслужване на програмата или машината.

Производителите на системи за управление обикновено не произвеждат металорежещи машини. Системата за управление е в по-голяма степен универсална, т.е. една система може да управлява различни по конструкция металорежещи машини. Звеното, което извършва съгласуване на универсалната система за ЦПУ с конкретната машина се нарича програмируем контролер (PLC на фиг.1.4). PLC приема команди от системата за ЦПУ, трансформира ги в зависимост от конструкцията на управляваната машина и ги предава за изпълнение. По обратната верига се предава информация за състоянието на различни възли и системи на машината.

Операторският пулт зависи от конструкцията на металорежещата машина, поради което информацията от него също се интерпретира от PLC, както е показано на фиг.1.4.

Най-общо работата на системата за управление може да се илюстрира чрез фиг.1.5. Изпълнението на ред 23 от програмата (N23) задаващ движение по права линия (G01) от предходната точка, до точка по ос Z отстояща на 498 mm в отрицателна посока от координатното начало (непоказано) с работен ход със скорост 0.3 mm/rev на вретеното (F0.3), започва след изпълнението на предходния ред или след сигнал от бутона "Start". Информацията от ред 23 се прочита от паметта и се разпределя за изпълнение към съответното задвижване, в случая ос Z. Тук текущото положение по ос Z (50.218) се сравнява с програмираното и се подава команда за движение със съответната скорост към двигателя на ос Z. Този процес се повтаря непрекъснато (следене на положението) до достигане на зададеното положение. След достигането му се преминава към изпълнение на ред 24 и т.н.



Фиг. 1.5 Схема на работата на системата за ЦПУ

Технологичните процеси най-общо могат да се обединят в две групи, такива които се изпълняват в определена точка с инструмент с определена форма и размер (пробиване, зенкерование, райберование, разстъргване и др.) и друга група при които повърхнината се формира при преместване на инструмента в пространството (фрезование, струговане и др.). И в двата случая е необходимо задаването на определена геометрична информация (координати на точки, траектории на движение) и осигуряване на условия за реализиране на процеса. Така и най-сложните обработки могат да се разделят на елементарни преходи, които да се опишат последователно в програмата за обработка.

1.2. ОСНОВНИ ЕТАПИ И ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ ПРИ СЪЗДАВАНЕ И ИЗПЪЛНЕНИЕ НА NC ПРОГРАМАТА

1.2.1. ИЗХОДНИ ДАННИ ЗА СЪСТАВЯНЕ НА ПРОГРАМАТА

За да бъде съставена програма за обработка на определен детайл върху металорежеща машина с NC управление, програмистът трябва да разполага с:

- Конструктивна документация, в която да са изяснени всички изисквания към детайла - допускови полета на всички размери, грапавост на повърхнините, форма и радиус на закръгление на преходните повърхнини, материал и др.;

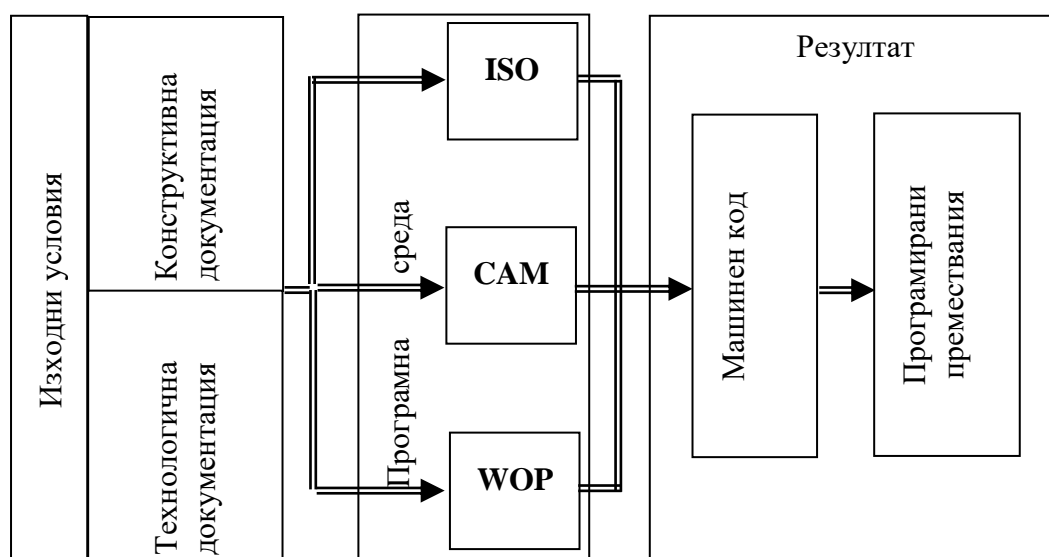
- Технологичен проект, който включва: избор на заготовка; технология на получаване; геометрична форма и размери на заготовката;

допустими отклонения от формата и размерите; твърдост на повърхностните слоеве;

неметални включвания и други особености; определяне на повърхнините за установяване и закрепване; избор на приспособление за установяване на заготовката; избор на типа на инструментите, инструментални държачи, начин за ориентиране и закрепване; избор на маршрути за осъществяване на всяка от обработките; избор на режими на рязане, определяне на прибавки и др.

1.2.2. СЪСТАВЯНЕ НА ПРОГРАМАТА В БУКВЕНО-ЦИФРОВ, ИЛИ ДРУГ СИМВОЛЕН КОД

Съвременното машиностроене разполага с различни програмни средства за съставяне и съхранение както на конструктивната, така и на технологичната документация. На практика всички CAD-CAM системи разполагат с модули за съставяне и тестване на NC програми. Това позволява разработването на управляващи NC програми още в етапа на проектиране на конкретното изделие. От друга страна, съвременните форми на организация на производството наложиха използването на така наречените WOP (Workshop Oriented Programming) системи обединяващи CAD-CAM системата със системата за CNC на конкретната машина. Това създава различни възможности и за съставяне (фиг. 1.6) на управляваща програма.



Фиг. 1.6. Условия и среда за реализиране на ЦПУ

- ISO/EIA – Програмиране.

В класическия си вариант конструктивната документация е набор от чертежи, изпълнени върху хартиен носител на ръка или от подходяща компютърна периферия. Технологичният процес също е разработен върху хартия, като технологът използва за целта справочници или специализиран софтуер. При такива изходни данни програмистът съставя програмата за обработка, като използва разработена за целта система от буквено-цифрови кодове. Използването на буквени означения и съответен брой десетични цифри след тях е стандартизирано от поредица нормативни документи на ISO (International Standards Organization), на асоциацията на фирмите от електротехническата индустрия EIA, германските стандарти DIN 66024 и DIN 66025 и редица други национални стандарти. В ранните години на въвеждане на NC управление на металорежещите машини (60-те и 70-те години на 20-ти век) стандартизирането на основните буквено-цифрови команди облекчи създаването и експлоатацията на системите за ЦПУ, произведени от различни фирми, разпръснати по целия свят. Днес този начин на създаване на управляващата програма наричаме ISO/EIA програмиране. Приложението му все още е много широко. Използва се в по-старите системи за ЦПУ, както и в случаите, в които програмистът желае да управлява пряко обработката.

- CAD/CAM Програмиране.

Този начин на програмиране стана възможен след масовото навлизане в практиката на CAD системи със значителен обем на използваната RAM памет. Създаденият в етапа на конструкторското проектиране виртуален модел на детайла, който предстои да бъде произведен, спестява на програмиста необходимостта да описва геометрията му с помощта на ISO кодове. Знанията на програмиста за технологичното оборудване, което е на негово разположение се заместват от т.н. постпроцесори, които съдържат данни за компоновката, технологичните възможности и системата за управление на използваната металорежеща машина. Постпроцесорът е междинно звено между CAD модела и управляващата програма. CAM – модулът съдържа още данни за инструменти, за предвидените обработки, препоръчвани технологични режими, маршрути и т.н. CAD/CAM системите са съвременен средство за съвместяване на конструкторските дейности с бърза подготовка за производство на детайли в малки серии.

- Диалогово програмиране.

В процеса на създаване и експлоатация на ISO – програмите стана ясно, че голяма част от обработките се поддават на алгоритмизация. Например, обработката грубо цилиндрично струговане до зададен контур се изпълнява по един и същ алгоритъм за всички ротационни детайли. За да се изпълни той е необходимо да се въведат технологичните параметри на обработката, както и да се опише контура. В ISO програмите този алгоритъм се изпълнява от многопроходен цикъл G71, а контурът се описва аналитично, чрез ISO кодове в пасаж, които е част от цикъла. Така, чрез комбинация на няколко подходящи многопроходни цикли може да се осъществи всяка обработка, като за програмиста остава дейността по подбор и въвеждане на технологичните параметри на обработката, на инструментите и на маршрутите. Това в съвременните системи за ЦПУ става в диалогов режим, като водеща страна в диалога е системата. Описанието на контура става с помощта на графични оператори. По този начин многопроходните цикли са свързващо звено между традиционното ISO/EIA програмиране и диалоговите режими на съвременните системи за ЦПУ. Графичните методи за описание на 2-D и 3-D контури и тела правят диалоговото програмиране наследник и специфично развитие както на ISO/EIA програмирането, така и на CAD/CAM системите. Основното им предимство за технолога – програмист е съсредоточаването на всички дейности по изготвяне на програмата върху системата за ЦПУ, която разполага и с богата база от данни за инструментите, препоръчвани технологични маршрути, параметри и др. Съществуват различни варианти на диалоговото програмиране разработвани от водещите производители на системи за ЦПУ.

Следващ етап в подготовката на програмата за изпълнение е проверка и тестване чрез симулиране на работата и посредством компютърни симулатори при което се проверява взаимодействието на всички елементи в системата машина, приспособление, инструмент, детайл. При правилна работа следва прехвърляне на програмата в паметта на машината и настройване на работата и.

1.3. ЕЛЕМЕНТИ И СТРУКТУРА НА ПРОГРАМАТА

1.3.1. ПРОГРАМА

Програмата реализира подробните планове на технолога-програмист за провеждане на обработката на даден детайл, или част от него. NC – програмата е кодиран запис на технологичния проект за конкретната обработка, разбираем за системата за ЦПУ. Основен принцип при създаването и изпълнение на програмата е последователно изпълнение на обработките в реда, в които са записани в технологичният проект. Програмата представлява набор от изречения (блокове), като в един блок се записва различен обем информация – от един технологичен ход до цяла технологична операция.

Всяка програма има собствено име, което я отличава от останалите в паметта. Когато се пише нова програма, името и се съставя при спазване на правила, характерни за конкретната система за ЦПУ. Например за „SINUMERIK” името на програмата може да съдържа най-много 16 знака, като първите два са задължително букви (например FRAME 52). За FANUC името се образува от буква O и пореден номер (например O00906).

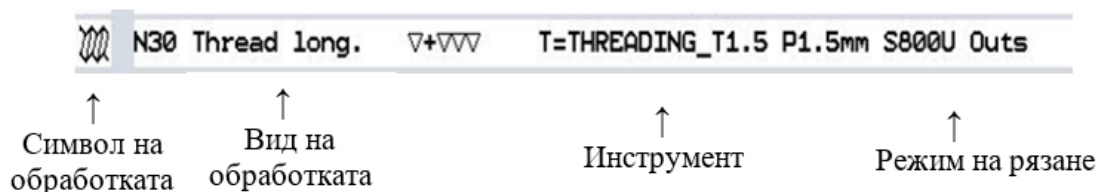
Основен принцип при съставяне на ISO – програмата е това, че един технологичен ход, например позициониращо преместване, цилиндрично струговане и др. се програмира в рамките на група от команди, наречена изречение или блок. Последователността на изреченията (блоковете) в програмата определя последователността на изпълнение на технологичните преходи.

1.3.2. ПРОГРАМЕН БЛОК

Видът и обемът на информацията в един блок се определя от програмната среда в която се реализира. Този обем е най-малък при ISO програмирането. Там всеки програмен блок (фиг.1.7) съдържа една или повече програмни думи, като дължината на блока не е фиксирана, но е ограничен максималния брой на използваните знаци – до 128 знака, от който десетични цифри и допълнителни означения. При диалоговото програмиране блоковете (фиг.1.8) включват значително по-голям обем информация, в някои случаи и графична.



Фиг. 1.7. Блок от програма при ISO програмиране



Фиг. 1.8. Вид на блок от програма при "Shop Turn" на Siemens

Общите изисквания към използваните кодови символи са стандартизирани. Блокът може да започва с номер, който съдържа адрес N и съответно десетично число. Номерът се използва за ориентация на програмиста в съдържанието на паметта, както и при изпълнение на преходи от системата за ЦПУ. Ако се пренебрегнат тези случаи, програмата може да се изпълни и без команда за номер на блока.

При ISO програмирането всеки блок определя една машинна операция (технологичен проход) и съдържа номер на блока и една или няколко програмни думи. Думите съдържат цялата информация за движенията в машината (начин на задаване на позиционирането и информация за него, спомагателни и допълнителни функции и др.).

Думите, включени в един блок са стандартизирани (DIN 66025; ISO 840). За да се получи ясно представяне на блока на екран или в разпечатка, системата за ЦПУ добавя автоматично интервал между отделните думи. Блокът задължително завършва със знак за край на блока (EOB - end of block):

Пример: LF/CR
 CR - Carriage return
 LF - Line feed

Символите LF/CR обикновено не се изписват на екрана на системата (не се отпечатват). Видимият знак EOB се различава при различните „Фанук 5”, ЗИТ 500 – (\hookrightarrow); „Фанук 6Т”, „Фанук 6МВ” – (*); „Фанук 0” –(;).
системи:

1.3.3. ПРОГРАМНА ДУМА

Командите и символите, които изграждат блока се наричат програмни думи. Всяка програмна дума обикновено съдържа адрес (букви, знак + или – и поредица от цифри, записани в десетична бройна система). В зависимост от функцията си думите са класифицирани в различни групи. Например, използват се големи групи от програмни думи, които имат адреси G, M, T и др. В стандартите са уточнени и конкретни изисквания към цифровата част на програмните думи.

Адресът в програмната дума представлява кодирана команда (подпрограма) за осъществяване на определена функция, например изчисляване на траектория (интерполация G01, G02), преобразуване на координати (G50), смяна на инструмент (Tnpxx) и др. Тези команди се наричат подготвителни.

В примера на фиг.1.9 са показани три думи с различен адрес и различни числени стойности:

	Дума		
	Адрес/стойност		
Пример:	G01	X-20.1	F300
Значение:	Преход с линейна интерполация	Позиция по ос X с координата -20.1 mm	Подаване 300 mm/min

Фиг. 1.9. Пример на структура от думи

Поредицата от цифри може да съдържа десетична точка, в зависимост от характера на представяната информация (в примера X – 20.1).

Водещите нули и незначещите нули след десетичната точка, както и знак + могат да се пропуснат.

Пример: X 157.5	вместо X + 0157.500
X 65.	вместо X + 65.000
X -.67	вместо X – 0.670

Някои думи (команди) са ефективни само в блока в които са записани, други са с модално действие тоест остават активирани и в следващи блокове на програмата. Отменят се със специална команда или чрез въвеждане на друга дума със същия адрес (например G00 може да се отмени от G01). Немодалните думи трябва да се записват във всеки следващ блок в програмата, ако искаме да запазим действието им.

За адреси се използват букви от латинската азбука. Числените стойности се записват с десетичните цифри (0 до 9). Използват се и специални знаци: (); []; < >; =; /; *; +; -; .; ;; имащи общоприетото математическо значение и знаци със специално значение: ; - начало на коментар; # или \$ - променлива. Някои от знаците не се изписват на екран (не се отпечатват), като : LF – край на блок; Blank – разстояние между думите.

Използването на латински букви в адреса на програмните думи е регламентирано от стандартите (DIN 66025; ISO 840; EIA RS244) като значението им е показано в приложение 1 табл. П1.

Освен адресите, описани в табл. 1, в които е включена само една латинска буква, много широко се използват адреси, в които участват няколко букви. Различните системи за ЦПУ използват такива адреси с по-голяма свобода, разрешена от стандартите, поради което и разнообразието е по-голямо.

Особено значение имат голяма група команди, обозначени с G и съответно две или три цифри (табл. 2). Значението им е регламентирано от цитираните по-горе стандарти и се спазва от всички производители.

Командите посочени в табл. 1, 2 и 3 са само малка част от използваните в съвременните системи за ЦПУ. За пълното им проучване е необходимо да се използват фирмените ръководства за програмиране, настройване и експлоатация на конкретната машина.

Таблица 1

Списък на стандартизираното използване на адреси на програмни думи

Адрес	Значение	Числени стойности	Използване	Програм иране
A;B;C	Завъртане около ос	$\pm 0,001 - 99999999$	Данни за позиция или преместване.	C90
D	Регистър за диаметрална компенсация	0 до 9 само цели числа без знак	Данни при въвеждане на диаметрална компенсация	D6
E	Стъпка на цолова резба	0,001 - 99999999		
F	Подавателна скорост	0,001 - 99999999	Скорост на инструмента или заготовката в mm/min или mm/rev	F300
	Стъпка на резба	0,001 - 99999999	В mm/rev	F1.5
	Време за задържане	0,001 - 99999999	Спиране в точка - 3s	G04 F3
G	Подготвителни команди (виж табл.ПЗ)	Само цели числа без знак, областта зависи от приложението	G командите са обособени в групи. В едно изречение може да се включи само една команда от група.	G1
H	H функции От H0 до H9999	$\pm 0,0000001 - 99999999$ (8 цифри)	Използването им се определя от производителя на машината	Например H7=23.45
I	Параметър на интерполация	$\pm 0,001 - 99999999$ За резби $\pm 0,001 - 2000000$	Разстояние по ос X. Значението е различно: При G02; G03 – център на дъгата; При G33; G331; G332 стъпка по ос X.	Виж G2; G3 и G33; G331; G332
J	Параметър на интерполация	$\pm 0,001 - 99999999$ За резби $\pm 0,001 - 2000000$	Разстояние по ос Y. Значението е различно: При G02; G03 – център на дъгата;	Виж G2; G3 и G33; G331; G332

			При G33; G331; G332 стъпка по ос Y.	
K	Параметър на интерполация	$\pm 0,001 - 99999999$ За резби $\pm 0,001 - 2000000$	Разстояние по ос Z. Значението е различно: При G02; G03 – център на дъгата; При G33; G331; G332 стъпка по ос Z.	Виж G2; G3 и G33; G331; G332
L	Брой повторения при изпълнение на цикли или подпрограми	До 7 цифри само цели числа		
M	Машинни функции (виж табл.П4)	0 до 99 само цели числа без знак	Използват се за управление хода на програмата и различни функции на машината. Различните системи налагат ограничения на броя на M командите в един блок.	M03
N	Номер на блок	0 до 9999 9999 само цели числа без знак	За обозначаване номер на изречение	N 22
P	Номер или брой на изпълненията на подпрограма	1 до 9999 само цели числа без знак	Зависи от типа на системата за ЦПУ	
R	Радиус; аритметични параметри R0 до R299	$\pm 0,0000001 - 99999999$	Задаване на радиус при G02; G03 или аритметични операции в Sinumerik	Пример R6.735 или R1=7.9
S	Скорост на вретено	0,001 - 99999999 без знак	Честота на въртене на вретено в min^{-1}	S1500
T	Номер на инструмент	1 до 32000, само цели числа без знак	Инструментът може да се смени само с посочване номера на следващия инструмент или изисква и команда M6	T12

X;Y;Z	Позиция по координатна ос	±0,001 – 99999999	Данни за позиция или преместване.	X23.Y-3. Z-.55
U;V;W	Позиция по координатна ос (относителна)	±0,001 – 99999999	Данни за позиция или преместване в относителна коорд. система.	

Таблица 2 Списък на стандартизираното използване на G команди

ISO код	група	Функция	
		При стругови машини	При фрезови машини и центри
G00	01	Бърз ход (позициониране) до точка	
G01	01	Линейна интерполация (работен ход)	
G02	01	Кръгова интерполация (по часовата стрелка)	
G03	01	Кръгова интерполация (обратно на часовата стрелка)	
G04	00	Изчакване (задържане)	
G05		Високоскоростен цикъл за рязане	
G07.1	00	Цилиндрична интерполация	
G09			Точно спиране
G10	00	Въвеждане на данни за координатната система или инструмента (offset)	
G10.6	00		Бързо отдръпване ON/OFF
G11	00	Прекратяване на въвеждане на данни	
G12.1	21	Интерполация в полярни координати	
G13.1	21	Отмяна на интерполация в полярни координати	
G15			Полярни координати OFF
G16			Полярни координати ON
G17	16	Избиране на равнина XY	
G18	16	Избиране на равнина XZ	

G19	16	Избиране на равнина YZ	
G20	06	Въвеждане в mm	
G21	06	Въвеждане в inch	
G22	09	Ограничение в работната зона ON	
G23	09	Ограничение в работната зона OFF	
G25	08	Ограничаване на минималната скорост на вретеното	
G26	08	Ограничаване на максималната скорост на вретеното	
G27	00	Проверка за връщане в опорна точка	
G28	00	Връщане в опорна точка	
G30	00	Връщане във 2, 3 ... опорни точки	
G30.1	00	Плаваща опорна точка	
G31	00	Измерване с TouchProbe (SKIP)	
G32	01	Нарязване на резба	
G33	01	Нарязване на резба с постоянна стъпка	
G34	01	Нарязване на резба с променлива стъпка	
G40	07	Отмяна компенсацията на радиуса на инструмента	
G41	07	Компенсация отляво на контура	
G42	07	Компенсация отдясно на контура	
G43	08	Компенсация дължината на инструмента в посока (+)	
G44	08	Компенсация дължината на инструмента в посока (-)	
G49	08	Отмяна на компенсацията на дължината на инструмента	
G50	00	Промяна на координатната система. Определяне на максимална скорост на вретеното.	Мащабиране OFF
G50.1	00		Огледален образ спрямо зададена ос OFF
G50.2	00	Синхронизиране на вретеното OFF	
G51			Мащабиране ON

G51.1			Огледален образ спрямо зададена ос ON
G51.2		Синхронизиране на вретеното ON	
G52	00	Добавено отместване на координатната система	
G53	00	Подход към точка в машинната координатна система	
G54	14	Избиране на 1-ва координатна система на детайла	
G55	14	Избиране на 2-ра координатна система на детайла	
G56	14	Избиране на 3-та координатна система на детайла	
G57	14	Избиране на 4-та координатна система на детайла	
G58	14	Избиране на 5-та координатна система на детайла	
G59	14	Избиране на 6-та координатна система на детайла	
G60	00	Едностранно позициониране	
G61			Точно позициониране
G63			Движение по винтова линия
G64			Режим – непрекъснат път
G65	00	Извикване на макропрограма	
G66	12	Модално извикване на макропрограма	
G67	12	Отмяна на модално извикване на макропрограма	
G68	04	Огледален образ за двойна револверна глава ON	Ротация ON
G69	04	Огледален образ за двойна револверна глава OFF	Ротация OFF
G70	00	Чисто струговане по контур	Дименсии в инчове
G71	00	Грубо струговане на контур - надлъжно	Дименсии в метрична система
G72	00	Грубо струговане на контур - напречно	
G73	00	Грубо струговане на контур – успоредно на контура	Дълбокопробивен цикъл с късане на стружката
G74	00	Дълбокопробивен цикъл или фрезование по надлъжна ос Z	Цикъл за нарязване на лява резба

G75	00	Дълбокопробивен цикъл или фрезование по напречна ос X	
G76	00	Многопроходен цикъл за нарязване на резба	Прецизно разстъргване
G77	00	Цикъл за надлъжно струговане	
G78	00	Цикъл за струговане на резба	
G79	00	Цикъл за челно струговане	
G80	10	Отмяна на цикъл	Отмяна на пробивен цикъл
G81	10		Пробивен цикъл в точка
G82	10		Цикъл за разстъргване в точка
G83	10	Челен дълбокопробивен цикъл	Дълбокопробивен цикъл с вадене на стружката
G84	10	Цикъл за нарязване на резба в челото	Цикъл за нарязване на резба
G85	10		Пробивен / разстъргващ цикъл
G86	10	Пробиване в челото	Пробивен / разстъргващ цикъл с връщане с бърз ход
G87	10	Дълбокопробивен цикъл по цилиндричната повърхнина	Цикъл за разстъргване с връщане с работен ход
G88	10	Цикъл за нарязване на резба в цилиндричната повърхнина	
G89	10	Пробиване в цилиндричната повърхнина	Пробивен / разстъргващ цикъл с връщане с работен ход
G90	01	Абсолютно програмиране	
G91	01	Относително програмиране	
G92	01	Цикъл за нарязване на резба	
G93	01		Смяна на подаването mm/min - mm/rev и обратно
G94	01	Подаване в mm/min	
G95		Подаване в mm/rev	
G96	02	Постоянна периферна скорост на рязане ON	

G97	02	Постоянна периферна скорост на рязане OFF	
G98	05	Връщане до стартовата точка при пробивен цикъл	Връщане до стартовата точка при фиксиран цикъл
G99	05	Връщане до точка R при пробивен цикъл	Връщане до точка R при фиксиран цикъл

Командите от група M се използват за обозначаване на различни функции, най-често свързани с конструкцията на конкретната машина. Адресът M се следва най-често от две цифри, т.е. на разположение на производителя на машината са 100 команди от група M. Една малка част от тях е предназначена за функции, които са стандартизирани и се използват от всички производители на машини (табл. 3).

Таблица 3 Списък на стандартизираното използване на M команди

Адрес	Значение	Действие
M0	«Програмен стоп»	Прекратява се въртенето на вретеното, изключва се охлаждането, изпълнява се текущото преместване. Изпълнението на програмата се възстановява с бутон «старт»
M1	«Условен стоп»	Има същото действие, като M0, но изпълнението му зависи от състоянието на ключ или системна променлива (0 – M1 не се изпълнява, 1 – M1 се изпълнява като M0)
M2	«Край на програмата»	Изпълнението на командата отменя всички зададени по рано в програмата функции
M3	«Ротация на вретеното по часовата стрелка, CW»	
M4	«Ротация на вретеното обратно на часовата стрелка, CCW»	
M5	«Стоп на вретеното»	При програмиране едновременно с преместване, M5 се изпълнява след завършване на преместването.
M6	«Смяна на инструмент».	Използва се в зависимост от типа на инструменталния магазин

M7	«Включване на охлаждане към първи нождържач»	Ако блокът съдържа и команда за движение, изпълнението на двете команди стартира едновременно
M8	«Включване на охлаждане към втори нождържач»	
M9	«Изключване на охлаждането»	Ако командата е съвместена с движение, M9 се изпълнява след завършване на движението
M30	«Край на програмата и автоматично връщане в началото и»	
M41; M42; M43	«Избор на диапазон в кинематичната верига на вретеното»	
M98	«Извикване на подпрограма»	С адрес P се посочва номера на подпрограмата
M99	«Връщане в главната програма»	Поставя се в края на подпрограмата и връща изпълнението на програмата в следващия блок след този, в който е извикана подпрограмата

Извън изброените тук команди, останалите номера (от M10 до M97 включително) се използват от производителите на металоурежещи машини за обозначаване на различни функции. Използването на свободните номера не е стандартизирано, поради което може една M команда в машина, произведена от DMG да има едно значение, а в машина, произведена от FANUC – друго.

Обикновено 100 команди от група M са достатъчни за производителите на металоурежещи машини. Ако за някои специализирани машини този брой се окаже недостатъчен, производителят на системата въвежда трети цифров разряд, като описаните тук стандартни команди запазват значението си. Такъв случай има при машините за лазерни обработки, произвеждани от TRUMPF GMBH с управление от Bosch.

Има ограничение за броя на командите от група M, употребени в един блок. Старите системи за CNC (FANUC 5”, ЗИТ 500; „FANUC 6” и др.) изискват в един блок да не се включва повече от една M команда. Съвременните системи също имат ограничения, но допустимият брой на M командите е по голям (например в SINUMERIK те са 5).

1.3.4. СТРУКТУРА НА ПРОГРАМАТА

Всяка програма се състои от три части: старт (глава) на програмата; работна част (тяло); заключение (край) на програмата.

- Старт (глава) на програмата.

В главата се задава код (номер) на програмата. Заедно с номера на програмата може да бъде въведен пояснителен текст (не е задължително). Следват няколко програмни блока, чрез които системата получава информация за положението на подвижните органи – супорти, маси и др. спрямо характерни точки в работната област (наричани опорни точки) и се подготвя изпълнението на работната част. Задават се различни специфични ограничения в работната зона, за скоростта и др.

- Работна част (тяло) на програмата.

Блоковете от тази част на програмата се изпълняват последователно в реда, в който са записани. Последователността на изпълнение може да се промени чрез: извикване на подпрограма; команда за повторение; команда за преход – условен или безусловен; забрана за изпълнение на някой от блоковете със специално обозначение (подчинени изречения).

Номерът на блока от тази част на програмата се използва за ориентация на оператора за хода на изпълнението и, както и при изпълнение на команда за преход. Използването на един и същ номер на блок няколко пъти в една програма или в цялата програмна памет може да доведе до сериозни грешки и аварии в процеса на работа. Препоръчва се последователно нарастване на номерата, без прекъсване и без повторения.

- Край на програмата (заключение).

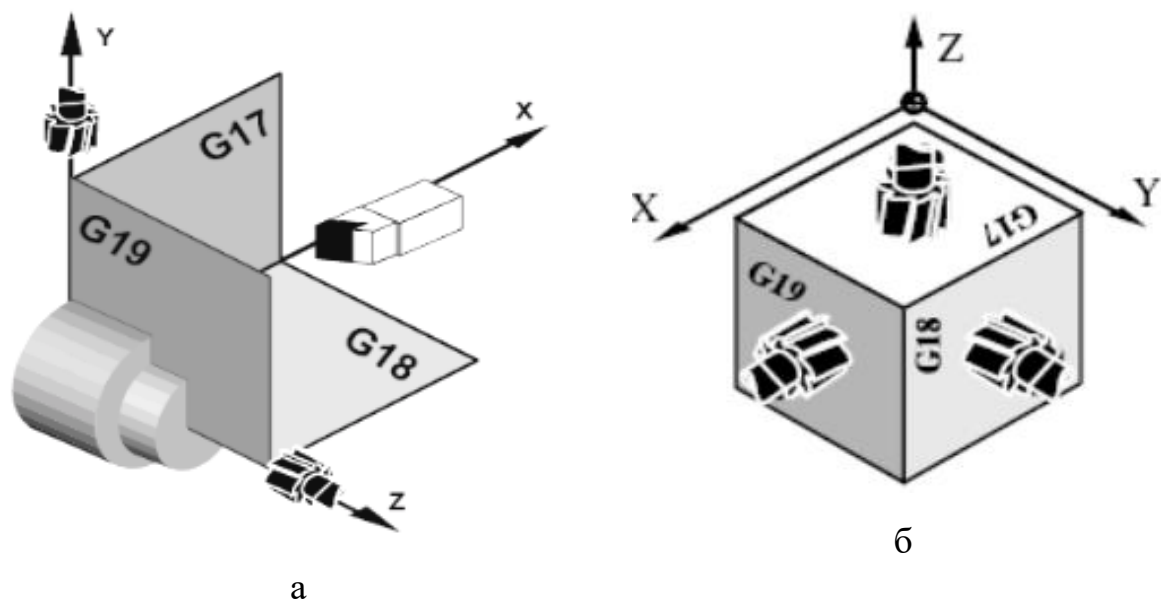
Край на програмата се задава с определена функция (например M02 или M30). Тези команди се програмират самостоятелно в последното изречение на програмата. Действието им включва прекратяване на всички движения в машината и отмяна на обявените преди това режими, координатни системи и модални функции.

1.4. ПОЗИЦИОНИРАЩИ И ПОДАВАТЕЛНИ ПРЕМЕСТВАНИЯ

1.4.1. ИЗБОР НА РАВНИНА

При програмиране на премествания изискващи кръгова интерполация, въвеждането на режима на радиусна или дължинна корекция е необходимо да се определи равнина, в която се пресмятат преместванията, радиусната компенсация или се изчислява дължинната корекция на инструмента. Изключение правят 3D обработките, изпълнявани най-често върху съвременни фрезови обработващи центри от висок клас, където са възможни 3-димензионални компенсации.

За определяне на работна равнина (фиг. 1.10) се използват команди от група G, които са описани в табл.4.



Фиг. 1.10. Работни равнини

(а - при стругови системи

б- при фрезови системи)

1.4.2. КООРДИНАТНИ СИСТЕМИ

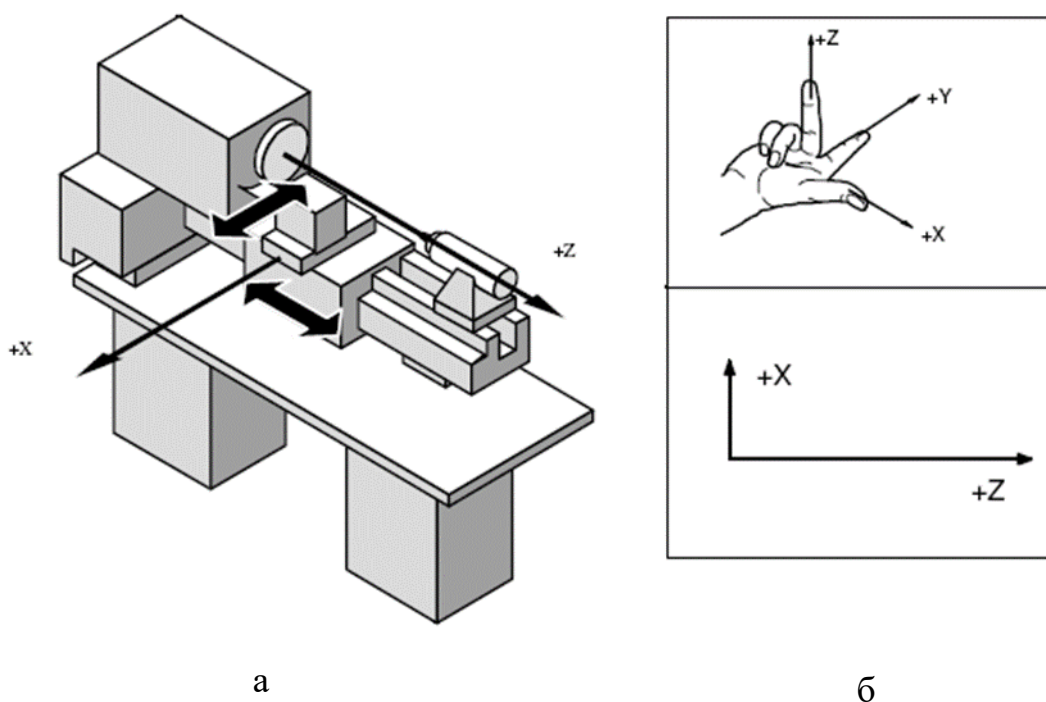
Струговите машини използват правоъгълна координатна система с брой на осите, зависещ от конструкцията на машината. В съответствие с изискванията на стандартите в тази област (DIN 66025; ISO R-840; EIA RS244-A) ос Z е разположена по оста на вретеното, а ос X е хоризонтална, като се спазва условието оста Z да съвпада с оста на главното движение на

рязане. Така класическата стругова машина, която има две основни движения на супорта (надлъжно и напречно), има две координатни оси, както е показано на фиг.1.11а.

При дясноориентирана координатна система положителната посока може да се определи, като се използва правилото на дясната ръка (фиг.1.11б). При въвеждане на фрезово вретено в струговите обработващи центри се използва и ос Y, която има посоката, показана на фиг. 1.10а.

Таблица 4. Равнини при машини с програмно управление

G функция	Равнина (абциса/ордината)	Перпендикулярна ос (ос за дължинна компенсация при пробиване или фрезоване)
G17	X/Y	Z
G18	Z/X	Y
G19	Y/Z	X



Фиг. 1.11. Координатна система на стругова машина

(а - общ вид;

б - правило за определяне на посока)

- Машинна координатна система (МКС).

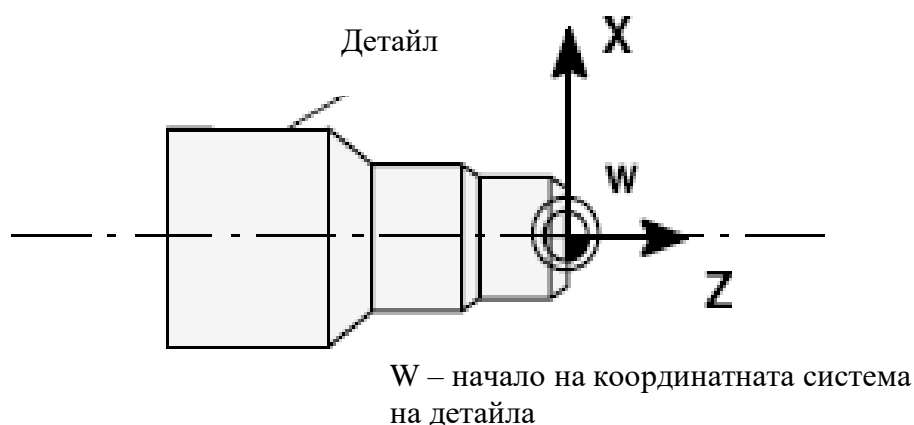
Координатната система на машината има начало в точката, в която оста на вретеното пробжда равнината на челото на патронника (не се отчита положението на челюстите). Ос X в общия случай е хоризонтална, но заедно с това тя трябва да е успоредна на движението на напречната шейна. По този начин МКС зависи от конструкцията на машината, като остава правоъгълна. При хоризонтално разположени напречни направляващи МКС има вид, показан на фиг.1.11.

При конструкции с триъгълно или трапецовидно напречно сечение на тялото, МКС се завърта около ос Z , така че ос X да е успоредна на движението на напречната шейна.

МКС не зависи от детайла, който се обработва, като не променя положението си от производството на машината за целият период на използването и.

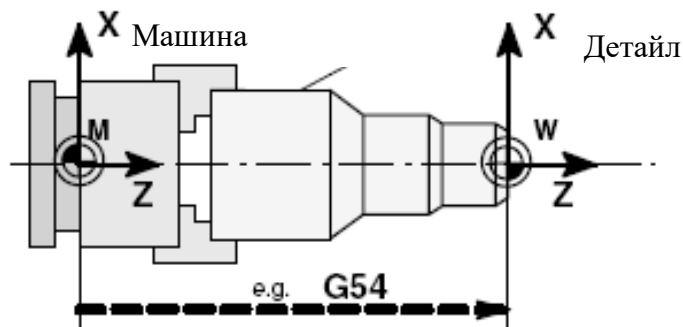
- Координатна система на детайла (КСД).

КСД се използва за описание на детайла, който ще се обработва. Началото на КСД може да се избере без ограничения по ос Z , а по ос X началото е върху оста на въртене (фиг.1.12).



Фиг. 1.12. Координатна система на детайла

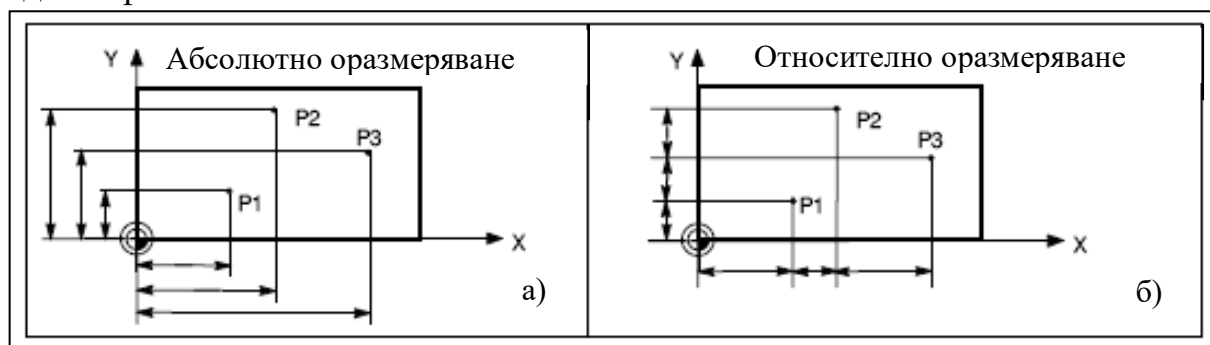
Най-често за начало на КСД по ос Z се приема точката, в която оста на вретеното пробжда равнината на най-дясното чело на детайла. Такова разположение позволява най-лесно настройване. Разположението на МКС, КСД и връзката между тях за конкретна заготовка, установена в челюстите на патронника може да се види на фиг.1.13.



Фиг. 1.13. Връзка между координатните системи на машината и детайла

1.4.3. АБСОЛЮТНО И ОТНОСИТЕЛНО ПРОГРАМИРАНЕ

При съставяне на програмата много често се налага да бъдат посочвани координати на точки. Приети са два основни начина за представяне на координатите на точките в работното пространство: в абсолютни координати – спрямо координатното начало; в относителни координати - спрямо предходната точка. Разликата между тях може да се види от фиг.1.14.



Фиг. 1.14. Абсолютно и относително задаване на размери

При абсолютно програмиране координатите на всички точки са определени спрямо началото на координатната система (фиг.1.14 а). При относително програмиране всяка следваща (в последователността на дефинирането) точка се определя спрямо предходната по двете оси на избраната координатна равнина (фиг.1.14 б). Например точка P3 (фиг.1.14) е определена спрямо P2.

Има разлика в начините на задаване типа на програмиране (абсолютно или относително) при различните системи за ЦПУ и машини за програмиране.

Абсолютното програмиране при всички системи за фрезови машини се задава с модална команда G90.

Например:

N10 G90 X20. Z90. ;

Координатите на точката са определени в съответствие с фиг.1.14.

Някои от производителите на системи за ЦПУ (FANUC; ETA-17 и др.) за определяне че, програмирането е абсолютно при струговите машини използват адресите X и Z.

За всички системи за фрезови машини, относителното програмиране се включва с модалната команда G91, за струговите машини се използват адреси U (вместо X) и W (вместо Z) при системите на FANUC; ETA-17 и др.

Например:

N180 G91 X40. Z20. ; - при всички системи за фрезови машини.

N180 U40. W20. ; - за стругови машини при FANUC; ETA-17 и др.

Координатите на точката са обозначени в съответствие с фиг.1.14.

Смесено програмиране: Всички системи за ЦПУ допускат смесено програмиране т.е. по една от координатните оси програмирането е абсолютно, а по другата – относително. При системи произведени от FANUC смесеното програмиране има следния вид:

N130 X28. W-4.; абсолютно по ос X и относително програмиране по ос Z.

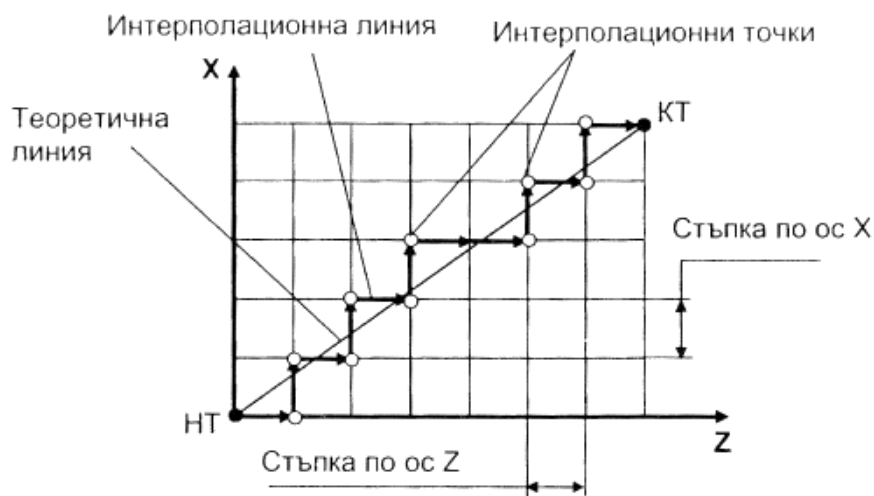
1.5. ПРОГРАМИРАНЕ НА ДВИЖЕНИЯ

1.5.1. ИНТЕРПОЛАЦИЯ

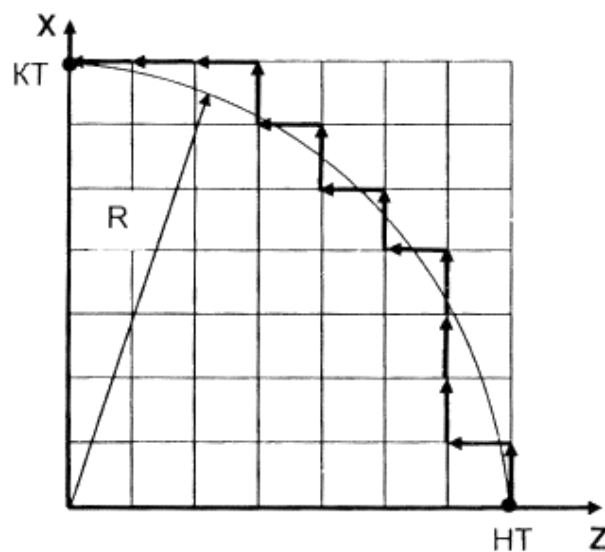
Основният математически апарат на който се основава цифровото програмно управление е интерполацията. Той осъществява съгласуване и синхронизиране на подавателните движения така, че инструментът се движи по линия съответстваща на зададената в програмата траектория. Интерполацията осигурява едновременно управление в реално време от две до няколко десетки (49 при Sinumeric) подавателни органа. Прилагат се както прости – линейна, кръгова, хеликоидална, така и сложни – сплайнова, полиномиална, NURBS и трохоидална интерполация.

Линейната и кръговата интерполация се изпълняват в една от координатните равнини XY, ZX или YZ, поради което равнината трябва да бъде зададена със съответната команда G17, G18 или G19.

Интерполацията се реализира в няколко стъпки въз основа на зададените в управляващата програма основни данни. При линейна интерполация се задават координатите на началната (НТ) и крайната (КТ) точки на правата (фиг. 1.15). При кръговата се задават координатите на началната и крайната точки на дъгата, радиуса на дъгата R и посоката на движение – по часовата стрелка или обратно (фиг. 1.16).



Фиг. 1.15. Схема на линейна интерполация



Фиг. 1.16. Схема на кръгова интерполация

След прочитане на програмираната информация се прилага съответният алгоритъм за интерполация. Традиционният алгоритъм показан на фиг. 1.15 включва изчисляване на уравнението на теоретичната линия между началната и крайната точка. След което се задава елементарно преместване по едната ос и се изчислява точката по другата ос така , че тя да бъде най-близко до теоретичната линия. При линейната интерполация (фиг.1.15) за изчисляване се използва тангенсът на ъгъла на наклон, а при кръговата (фиг.1.16) условието $X^2+Z^2=R^2$. Едновременно с това се стартира движение на подавателните органи до съответните изчислени точки, така, че работния орган преминава последователно през всички изчислени точки и описва интерполационна линия, която се отличава от теоретичната. Разликата между двете определя точността на машината.

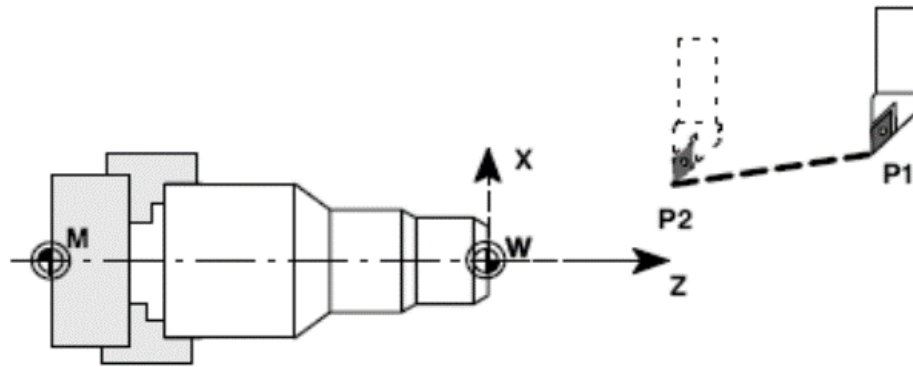
1.5.2. ПОЗИЦИОНИРАЩИ ПРЕМЕСТВАНИЯ НА БЪРЗ ХОД G00

Движение на бърз ход по една или едновременно по няколко оси се използва за позициониране на металоурежещия инструмент, без извършване на обработка.

Максималната скорост (бърз ход) по всяка от координатните оси обикновено е различна и е определена от производителя на машината. Скоростта на бърз ход при изпълнение на командата G00 се определя от позицията на превключвател на пулта на машината в % от максималната. Така операторът може да ограничи скоростта и да наблюдава преместванията при настройване на програмата.

G00 е модална команда от група 1 (виж табл.2). Отменя се с друга команда от същата група (G01; G02; G03).

Съвременните системи за ЦПУ изпълняват команда G00 с линейна интерполация, както при работните ходове, т.е. траекторията по която се движи върхът на стругарския нож (или центъра на челото на фреза, свредло или друг инструмент) е права, която свързва началната точка P1 и крайната точка P2 (фиг.1.17). Така програмистът и операторът могат да предвидят пътя на работния орган и да го предпазят от удар в елемент на детайла или приспособлението.



Фиг. 1.17. Позициониращо движение с команда G00 (бърз ход)

При старите системи от типа на ЗИТ 500; FANUC 6; TCU 600 и др., команда G00 се изпълнява чрез несъгласувани премествания на бърз ход по всички включени в командата оси. При изчерпване на преместването по една ос, движението продължава само по другата. По този начин траекторията на движението на върха на ножа е начупена линия и не може да се прецени визуално къде ще премине инструмента.

1.5.3. РАБОТНИ ПРЕМЕСТВАНИЯ

Работните премествания или ходове са основния елемент за формо и размерообразуване при технологичните процеси. Геометричната точност на траекторията на движение, както и точността на параметрите на движението са определящи за точността на обработката. При повечето обработки в равнина, като струговане, фрезование на призматични детайли, обработване на отвори и др. обработки от тип 2.5D, работните премествания са съвкупност от елементарни премествания по права линия или по дъга от окръжност. При обработване на пространствени 3D повърхнини се срещат и сложни траектории описвани с NURBS криви. Макар, че тяхното програмиране за обработка става със сравнително сложни САМ системи, резултатът е съвкупност от последователно разположени много къси праволинейни елементи. Така, че в основата на всяка обработка стоят премествания по права линия или по дъга от окръжност. Основният инструмент за реализирането на тези премествания е интерполацията.

- Работен ход по права линия G01 или G1.

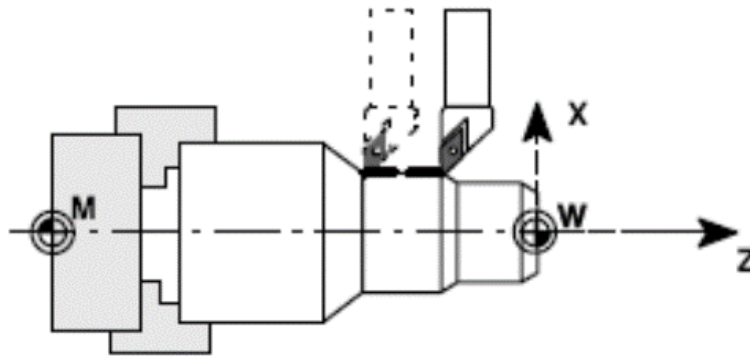
При изпълнение на тази команда инструментът се движи от началната точка до крайната точка на този ход по права линия. Изпълнява се обработка с подавателна скорост F (фиг.1.18).

Например:

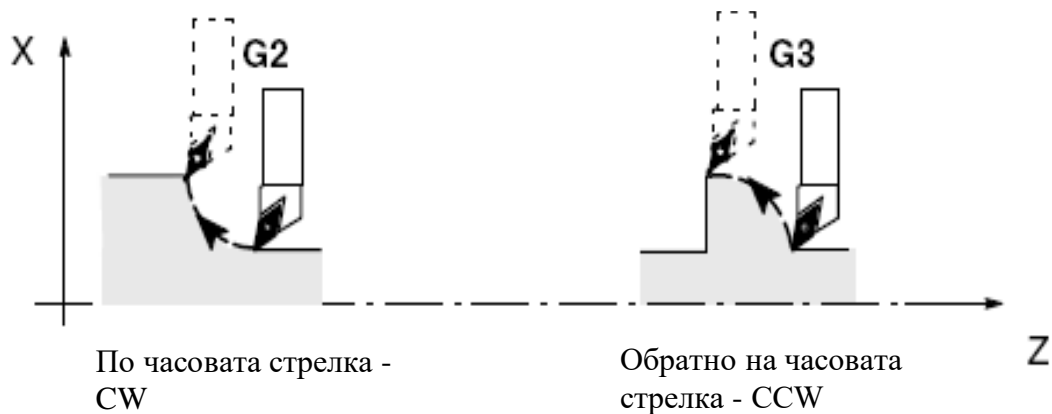
N10 G01 Z120. F.15 ; линейна интерполация за работен ход по ос Z до точка Z=120 mm и подавателна скорост 0.15 mm/rev.

- Работен ход по дъга с кръгова интерполация G02; G03 (G2; G3).

При изпълнение на командите G02 и G03 върхът на стругарския нож (центърът на фрезата) се движи от началната до крайната точка на преместването, като траекторията е дъга от окръжност (фиг.1.19).



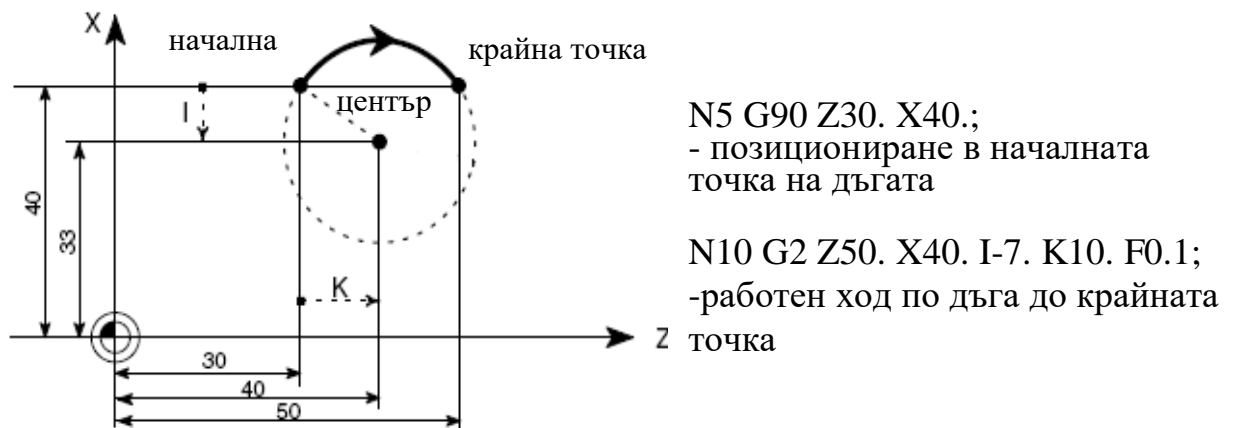
Фиг. 1.18. Линейна интерполация с G01



Фиг. 1.19. Кръгова интерполация с G2 и G3

Задаването на движението по дъга може да стане по няколко начина:

А). Чрез координатите на крайната точка на дъгата и на центъра ѝ (фиг.1.20):



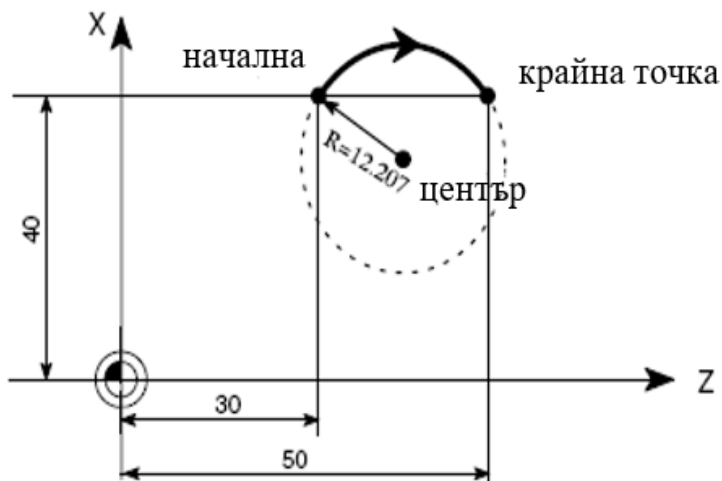
Фиг. 1.20. Задаване на дъга чрез крайната и точка и центъра и

Б.) Чрез координатите на крайната точка на дъгата и радиус (фиг.1.21):

Работните премествания G01, G02 и G03 са активни само при зададени подавателна скорост F и скорост на вретеното различни от 0 и разрешение за въртене M03 или M04. В противен случай възниква грешка.

- Подавателна скорост F.

Командата F определя подавателната скорост при изпълнение на работните ходове. Ако движението е по дъга от окръжност или права с произволно положение спрямо координатните оси, интерполаторът управлява движението по отделните оси така, че да се получи необходимото съгласувано преместване, при запазване на зададената скорост, тангенциална към траекторията.



При FANUC:

N5 G90 Z30 X40;

N10 G2 Z50 X40 R12.207;

Фиг. 1.21. Задаване на дъга чрез крайната и точка и радиус

Командата F трябва да бъде активна винаги, когато се изпълнява работен ход, определен чрез команди G01; G02; G03. Тя има поведение като модалните команди, т. е. не е необходимо да се задава във всеки блок на програмата. Ако е необходима промяна, с нова команда F се въвежда новата стойност.

За определяне на подавателната скорост се използват числа с десетична точка – например F40.8; F300.0.

Подавателната скорост може да бъде зададена по два начина: в mm/min или mm/rev. При струговите машини начинът на задаване се определя чрез командите G94 и G95:

G94 F__ - подавателна скорост в mm/min;

G95 F__ - подавателна скорост в mm/rev на вретеното, т.е. активна е само ако вретеното се върти.

Пример:

N10 G94 F32.0; - подавателна скорост 32 mm/min.

N110 G95 F1.55; - подавателна скорост 1,55 mm/rev, като в този случай движението ще се изпълни само ако вретеното се върти.

1.6. ДВИЖЕНИЕ НА ВРЕТЕНОТО

1.6.1. ЧЕСТОТА НА ВЪРТЕНЕ (СКОРОСТ) НА ВРЕТЕНОТО И ПОСОКА НА ВЪРТЕНЕ

Честотата на въртене на вретеното се определя от най-важният технологичен параметър – скоростта на рязане. Тя се програмира като честота в min^{-1} или периферна скорост в m/min в зависимост от това коя команда е активна G97 или G96, а стойността и се задава чрез команда S. Тази команда, също като командата F, остава активна до промяната и с друга. Движението на вретеното се управлява с три команди от група M:

M3 – въртене по часовата стрелка, CW ;

M4 - въртене обратно на часовата стрелка, CCW;

M5 – стоп на вретеното.

При включване на системата към захранване, активна е команда S0.

Пример:

G97 S270 M3; - задава се въртене на вретеното с честота 270 min^{-1} в посока CW.

G96 S170 M4; - задава се въртене на вретеното с периферна скорост 170 m/min в точката на контакт с инструмента в посока CCW.

1.6.2. ОГРАНИЧЕНИЯ НА СКОРОСТТА НА ВРЕТЕНОТО

В редица случаи се налагат функционални ограничения на скоростта на вретеното (от използваната технологична екипировка, кинематични ограничения и др.).

При изпълнение на стругови операции в режим постоянна скорост на рязане, има смисъл да се въведе ограничение както на максималната, така и на минималната скорост на вретеното. За тази цел се използват командите G25 и G26 или G50.

Пример:

N10 G25 S12; - ограничава минимална честота на въртене 12 min^{-1} .

N20 G26 S1700; - ограничава максимална честота на въртене 1700 min^{-1} .

1.

1.7. ИНСТРУМЕНТИ И КОМПЕНСАЦИИ

1.7.1. ИЗБОР НА ИНСТРУМЕНТ

Едно от важните предимства на машините с ЦПУ е възможността да работят с голям брой, автоматично сменяеми инструменти. За тази цел се използват револверни глави при струговите машини или инструментални магазини (дискови, верижни и др.) при фрезо-пробивните машини. Изборът на инструмент се осъществява с команда T и номер на инструмента. Например при струговите машини с револверна глава, изборът на инструмент поставен в позиция 5 се осъществява с командата T05 която ще завърти револверната глава в позиция 5. При фрезо-пробивните машини е необходима и допълнителна команда от група M – M6, която стартира служебна програма за управление на манипулатора за смяна на инструмента.

N5 T11; - избор на инструмент с номер 11 при револверна глава,

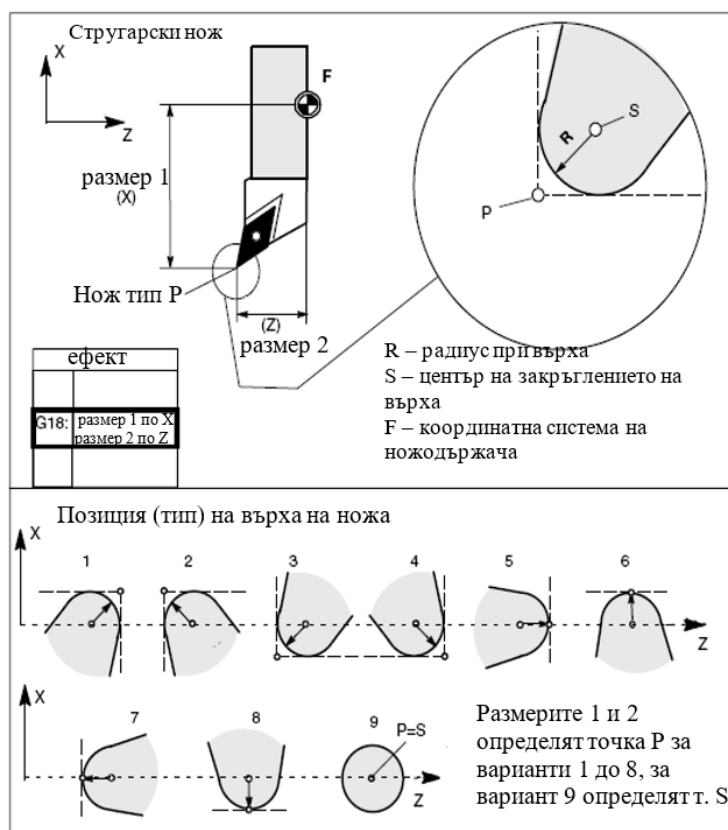
N15 T21 M6; - избор на инструмент с номер 21 при машина с дисков или верижен магазин.

1.7.2. ГЕОМЕТРИЧНИ КОРЕКЦИИ.

Съвременните системи за ЦПУ спестяват на програмиста необходимостта да пресмята траекторията, която описва фрезовия инструмент при контурна обработка или центъра на закръглението при върха на стругарски нож, както и разликата в дължината на различните инструменти. Програмистът описва траекторията на центъра на челото на фрезовото вретено, без да отчита дължината на инструмента, или въображаемия връх на стругарския нож, като се ръководи от конструктивната документация, а системата изчислява отместванията автоматично. За да е възможно това, данните за всички инструменти (радиус, закръгление при върха, дължина и др.) се въвеждат в регистри, които наричаме корекционни регистри. Във всички използвани системи за ЦПУ броят на корекционните регистри е много по-голям от броя на инструментите в магазина, тоест няма изискване номера на инструмента да съвпада с номера на корекционния регистър. Освен това в един пасаж на програмата определен инструмент може да работи с един корекционен регистър, а в друг пасаж същият инструмент може да се използва с друг корекционен регистър.

При струговите машини, корекционният регистър съдържащ дължинната корекция се записва в командата за избор на инструмента, като втора двойка цифри T0505. Тя става активна веднага, щом се извика съответния инструмент. Тя се състои в отместване на съответните размер 1 и 2 (фиг. 1.22).

При фрезовите машини се използват група команди: G43 добавя дължина; G44 изважда дължина от програмирания размер; G49 отменя компенсацията. Те са модални и изискват задаване на номер на коректора Н. Дължинните корекции (Н при Fanuc) се използват за компенсиране на разликите в дължините на инструментите (фиг. 1.23). Те се изчисляват по координатата, която е перпендикулярна на обявената равнина за обработка. Например: при G17 (равнина X - Y) дължинната корекция се пресмята по ос Z; при G18 (равнина X - Z) корекцията се пресмята по ос Y; при G19 (равнина Z - Y) корекцията е по ос X. Корекцията на дължината се изпълнява по време на първото преместване по координатната ос, по която се прави компенсацията.



Фиг. 1.22. Определяне на компенсационните размери на стругарски нож и типа на върха му

Препоръчва се след извикване на инструмента да се направи дължинната му корекция, след което да се опише програмата за работата му и в края да се отмени компенсацията. Примерно:

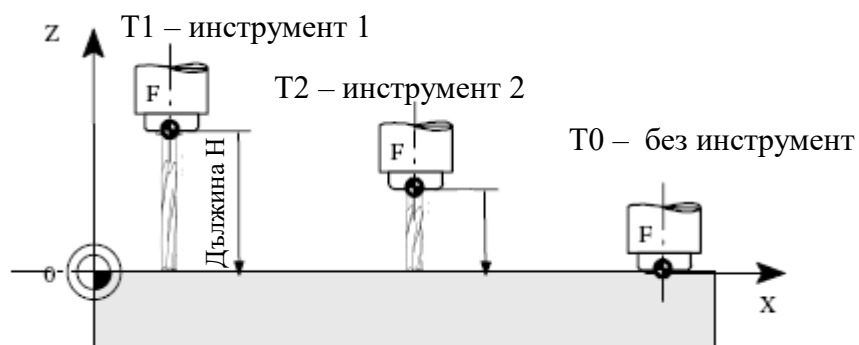
```

T05 M06;
G43 H5 G0 Z 100;
S1000 M03;
.....
.....
G49 G00 Z200.;

```

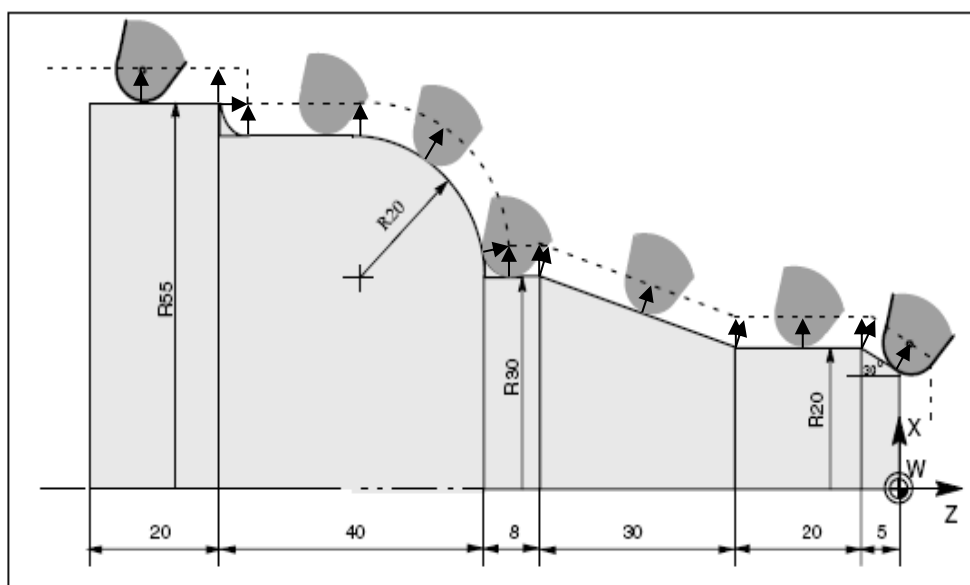
При фрезови и стругови обработки на контур е необходимо да се преизчислява траекторията, която трябва да опише центъра на фрезата или въображаемия връх на ножа (фиг.1.22). Тази дейност се извършва от системата за управление, като за целта тя се нуждае от описание на контура (по конструктивната документация), от уточняване на равнината на обработката (G17; G18 или G19) и от стойност за радиуса на инструмента. Радиусът е запаметен в регистър с адрес D, който наричаме диаметрална корекция.

Компенсация на радиуса на закръгление при върха на ножа се прави допълнително, с използване на командите G41/G42. Те се изчисляват според информацията въведена в корекционните регистри и векторът на компенсация. Посоката на вектора се преизчислява непрекъснато при изпълнение на програмата. Както се вижда от фиг.1.24, векторът на компенсация сключва винаги прав ъгъл с посоката, в която напредва



Фиг. 1.23. Компенсация дължината на инструмента

инструмента (при движение по крива – с тангентата в съответната точка). Върхът на вектора е разположен в центъра на закръгления при върха на ножа (центъра на фрезата), гледано откъм заготовката.



Фиг. 1.24. Посока на вектора на компенсация при обработване на контур

Векторът на компенсация се пресмята в равнина, определена посредством команда G17, G18 или G19. Тази равнина се нарича равнина на компенсация. В режим на компенсация (въведени G41 или G42), равнината на компенсация не може да се променя. Изключение от това правило са машините за 3D и 5D обработка, при които векторът на компенсация е в равнина, различна от координатните равнини G17, G18 или G19.

Програмиране:

G41 X__ Z__; радиусна компенсация от ляво на контура в посоката на движение.

G42 X__ Z__; радиусна компенсация от дясно на контура в посоката на движение.

Изпълнението на команди G41 и G42 може да се види на фиг. 1.25.

Включване на компенсацията:

При включване на режим на радиусна компенсация инструментът се приближава до контура по права линия с линейна интерполация (G0 или G1). Изпълнението на G41 или G42 завършва, като центърът на закръглението при върха е на разстояние R от стартовата точка от описанието на контура, измерено по права, която е перпендикулярна на

тангентата към първия елемент на контура. Две възможности за включване в режим на компенсация при връх тип 3 са показани на фиг. 1.25

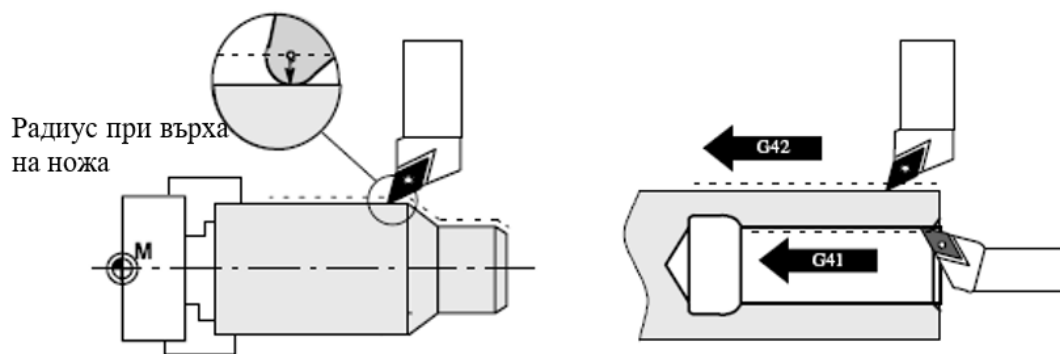
Пример:

N10 T__ F__;

N15 X__ Z__; - преход до начална точка P0;

N20 G1 G41 X__ Z__ ; - радиусна компенсация отляво, преход в точка P1;

N21 X__ Z__; - описание на контура, първи елемент в случая права линия.



Фиг. 1.25. Компенсация на радиуса при върха на ножа отляво/отдясно на контура

ГЛАВА 2

ПРОГРАМИРАНЕ НА СТРУГОВИ МАШИНИ С ЦПУ

Струговите машини са едни от най-бързо развиващите се в структурно и технологично отношение в последните години. Структурно машините с ЦПУ се изграждат от отделни възли със самостоятелно задвижване. Преобладават компановките с хоризонтално вретено, но се развиват и други, като тези с вертикално вретено, многовретенни, надлъжнопрофилни и др. Обща тенденция е развитие към многооперационни машини с висока степен на концентрация на операциите и гъвкавост, позволяващи пълна обработка на детайла в една позиция. Вариантите на компановката на струговите машини се формират основно според броя на работните оси и вида и броя на револверните глави. Застъпени са почти всички възможни варианти – от класическата компановка на едновретенна машина, изпълняваща само стругови операции до струго-фрезови обработващ център.

Струговите машини от ниските класове – с едно вретено и една револверна глава се използват за обработване на прости цилиндрични детайли или само струговата част на по-сложни детайли. Те се проектират в различни варианти, като патронникови – без задно седло, предназначени за къси фланцови детайли или нормални, със задно седло имащи възможност за обработка и на дълги детайли. Револверната глава може да бъде в различни положения – пред или зад оста на вретеното, с ос на въртене успоредна на ос Z или X, като тези различия се отразяват главно на обслужването на машината. Машини от този вид могат да се програмират „ръчно“ на базата на ISO код. Следващите по-сложни структури предполагат използването на компютърни системи за програмиране (КАМ и др. методи).

Добавянето на фрезови вретена, в определени позиции на револверната глава, разширява технологичните възможности с фрезови и пробивни обработки, осъществявани върху челото или периферията на детайла. В този режим вретеното е позиционирано или изпълнява подавателно движение (C ос).

Следващото стъпало в развитието на структурите на струговите машини е добавянето на второ вретено на мястото на задното седло.

Второто вретено има възможност за движение по оста, което позволява автоматично прехвърляне на детайла и обработката му и от втората страна. Двете вретена са синхронизирани (електронен вал) позволяващо обработването и на дълги детайли. Фрезовите операции са разширени като е добавено движение на револверната глава и по ос Y.

Обработват се по-сложни детайли имащи не само радиално, но и тангенциално разположени повърхнини по периферията.

Възможностите на съвремените CNC системи за управление на голям брой оси и едновременно водене на два и повече процеса позволиха съвместване на работата на двете вретена, като за целта е добавена и втора револверна глава. Създадени са възможности за различни технологични решения свързани с диференцирането и концентрацията на операциите, както и нови стратегии за обработване – балансирано грубо струговане, едновременно грубо и чисто струговане и др. осъществявани при едновременна работа на два инструмента върху една повърхнина. Макар и с разширени технологични възможности и сравнително голям брой инструменти (2 x 12), структурата не е ефективна за по-сложни комплексни детайли, като вал-зъбни колела и др., с голям обем фрезови обработки. В редица случаи се наблюдава и недостиг на инструменти и мощност за фрезовите вретена. Ограничено е и ъгловото положение на фрезовите повърхнини.

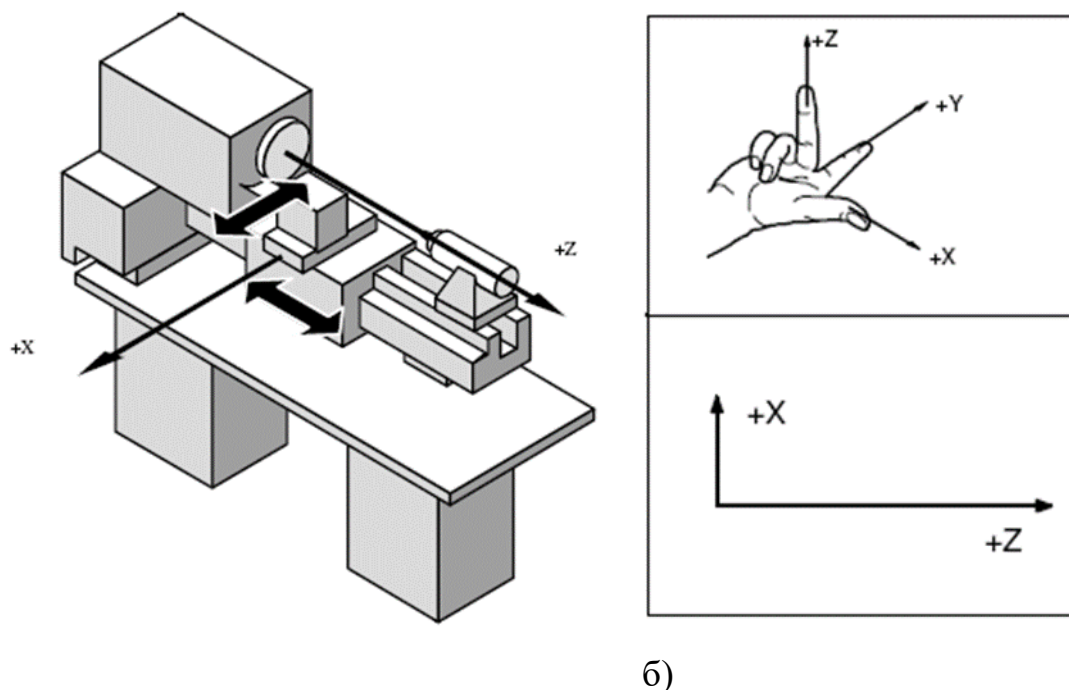
2.1. КООРДИНАТНИ СИСТЕМИ

2.1.1. ОБЩО ОПИСАНИЕ

Струговите машини използват правоъгълна координатна система с брой на осите, който зависи от конструкцията на машината. В съответствие с изискванията на стандартите в тази област (DIN 66025; ISO R-840; EIA RS244-A) ос Z е разположена по оста на вретеното и ос X е хоризонтална. Така класическата стругова машина, която има две основни движения на супорта – надлъжно и напречно, има две координатни оси, както е показано на фиг.2.1.

При дясноориентирана координатна система положителната посока може да се определи, като се използва правилото на дясната ръка (фиг.2.1).

При въвеждане на фрезово вретено в струговите обработващи центри се използва и ос Y, която има посоката, показана на фиг.2.1.



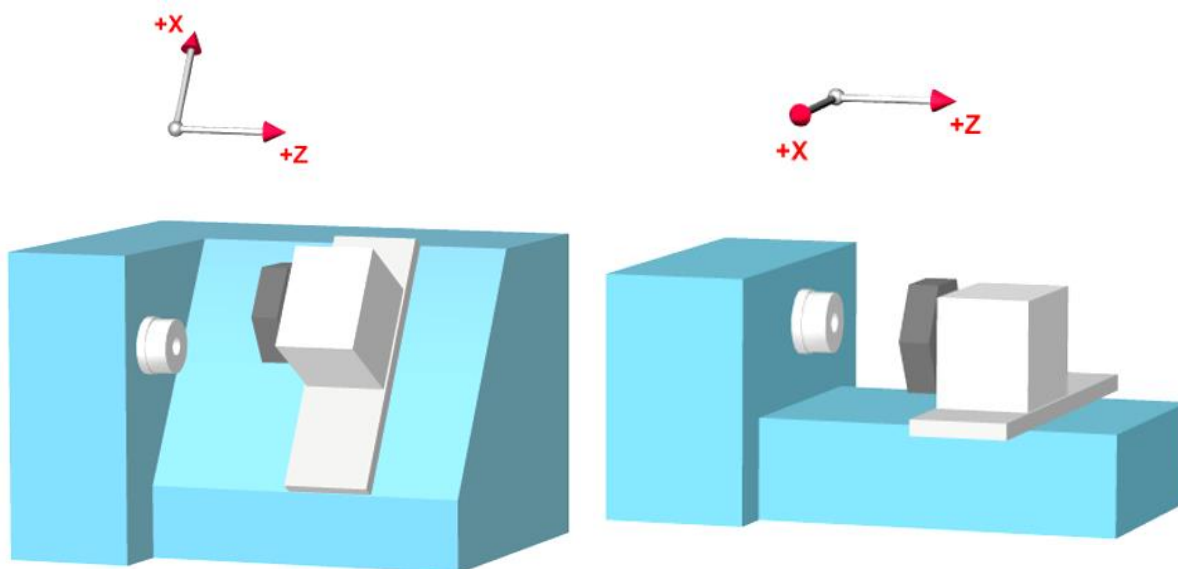
Фиг. 2.1. Координатна система на стругова машина. а) общ вид; б) правило за определяне на положителната посока

2.1.2. МАШИННА КООРДИНАТНА СИСТЕМА (МКС)

Координатната система на машината има начало в точката, в която оста на вретеното пробощда равнината на челото на патронника (не се отчита положението на челюстите). Ос X в общия случай е хоризонтална, но заедно с това тя трябва да е успоредна на движението на напречната шейна. По този начин МКС зависи от конструкцията на машината, като остава правоъгълна. При хоризонтално разположени напречни направляващи МКС изглежда така, както е показано на фиг.2.2.

При конструкции с триъгълно или трапецовидно напречно сечение на тялото, МКС се завърта около ос Z , така че ос X да е успоредна на движението на напречната шейна.

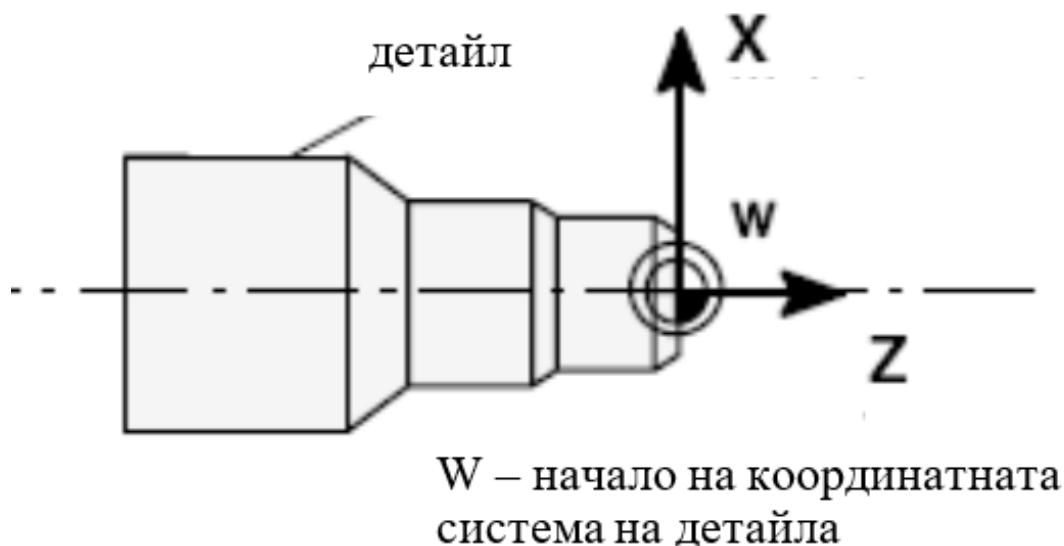
МКС не зависи от детайла, който се обработва. Началото на координатната система на машината не променя положението си практически от производството на машината за целият период на използването и.



Фиг. 2.2. Ориентиране на MKC спрямо конструкцията на машината

2.1.3. КООРДИНАТНА СИСТЕМА НА ДЕТАЙЛА (КСД)

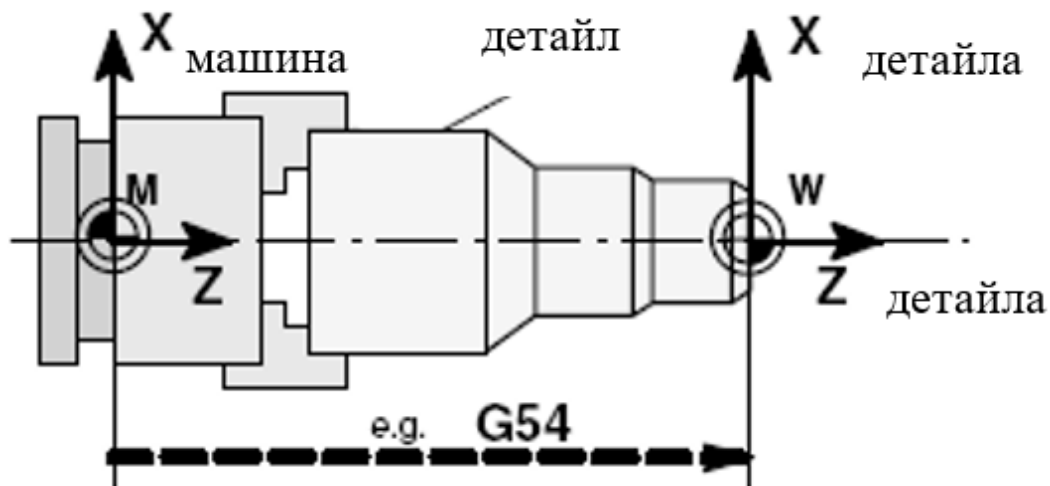
КСД се използва за описание на детайла, който ще се обработва. Началото на КСД може да се избере без ограничения по ос Z, а по ос X началото е върху оста на въртене (фиг.2.3).



Фиг.2.3. Координатна система на детайла

Най-често за начало на КСД по ос Z се приема точката, в която оста на вретеното пробжда равнината на най-дясното чело на детайла.

Разположението на МКС и КСД за конкретна заготовка, закрепена в патронника с челюстите му може да се види на фиг.2.4.



Фиг. 2.4. Координатни системи на машината и детайла

2.2. ХАРАКТЕРНИ ТОЧКИ

2.2.1. ОПОРНИ ТОЧКИ (ОТ)

По всяка от координатните оси се въвеждат точки, положението на които не се променя за целия период на експлоатация на машината. Спрямо тези точки се настройват координатните системи на детайла, а чрез тях всички геометрични параметри на програмата. Целта е да се получи пълна повторемост на движенията при многократно повторение в режим с прекъсвания (денонощни и седмични почивки). Тези точки се наричат общо опорни точки. ОТ се задават хардуерно - чрез гърбица и пътен превключвател за всяка координатна ос. Положението им е определено в координатната система на машината (фиг.2.5). От голямо значение е ОТ да се определи точно, защото всяко изместване на ОТ се проектира като грешка в геометрията на детайла. Поради това, за определяне положението на ОТ се включва (освен гърбица и пътен превключвател) и съответен сигнал от обратната връзка, който гарантира точност на позициониране няколко микрометра.

Върху пултовете за управление ОТ се изобразява със знак.



ОТ може да се достигне и в автоматичен режим, като за целта в програмата се включват команди G28. G28 е немодална команда, т.е. има действие само в блока, в който е включена. Координатната ос, по която

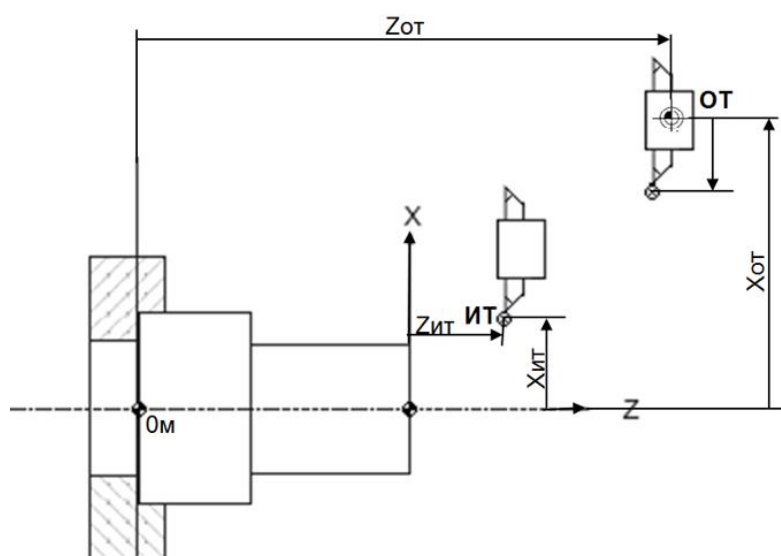
машината трябва да отиде в ОТ, се определя чрез присвояване на стойност (0) на относителния адрес на остта. Може да се програмира преход в ОТ последователно за всяка ос, примерно G28 W0; G28 U0 като последователността може да е обратна. Възможно е да се програмира ход до ОТ едновременно по две оси G28 W0 U0.

При достигане на ОТ по всички координати, системата за ЦПУ зарежда координатите на ОТ в координатната система на машината. При по-нататъшна работа може да се дефинират неограничен брой координатни системи на детайли, спрямо началото на КСМ.

2.2.2. ИЗХОДНА ТОЧКА (ИТ)

Изходна точка наричаме точката, в която се извършва смяна на инструментите. Положението и се определя в координатната система на детайла и се избира от програмиста. За избора има значение разположението и геометричните параметри на инструментите, типа револверна глава, както и разстоянието до заготовката. Желателно е това разстояние да не е голямо, за да се намали относителния дял на спомагателните позициониращи премествания. Разположението на ИТ в координатната система на детайла е показано на фиг.2.5.

Ако преходът от ОТ до ИТ, показано на фиг.2.5 предхожда дефиниране на първата за конкретна програма координатна система на детайла, координатите на ИТ трябва да са определени в координатната система на машината или да се използва относително програмиране.



Фиг. 2.5 Характерни точки

2.2.3. ФИКСИРАНИ ЦИКЛИ

Получаването на една или няколко свързани повърхнини чрез струговане в рамките на един преход, включва няколко еднотипни прохода определени от приетата дълбочина на рязане. Траекторията на инструмента при всеки проход е една и съща, като се премества според дълбочината на рязане. Програмирането на такава обработка включва многократно, циклично повторение на поредица от команди, което затруднява програмирането и е предпоставка за грешки.

Циклите са възможност при ISO-програмите да се кодират повече от едно преместване в рамките на един блок. Циклите могат да бъдат фиксирани, ако броят на движенията в цикъла е постоянен или многопроходни, ако броят на движенията зависи от друг параметър. Стандартите, които регламентират основните изисквания при ISO програмиране, разрешават по-голяма свобода на фирмите производители при използване както на фиксирани, така и на многопроходни цикли. Тук ще бъдат описани цикли, използвани от "FANUC" и „ETA 17”.

2.2.3.1. ФИКСИРАН ЦИКЪЛ ЗА ВЪНШНО/ВЪТРЕШНО СТРУГОВАНИЕ G90

Цикълът от фиг.2.6. а) се задава с командата:

G90 X(U)___ Z(W)___ R___ F___ ;

Където

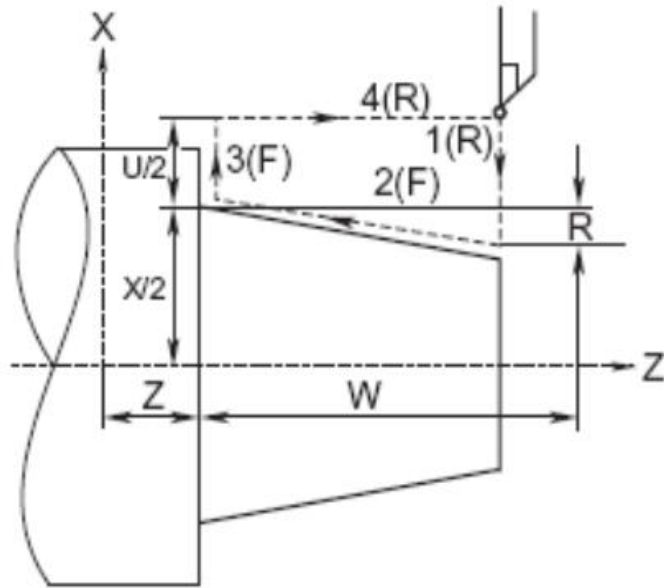
X(U) и Z(W) са координатите на срещуположната на изходната точка;

R – конусност;

F – стойност на работното подаване.

Цикълът се състои от четири движения:

- 1- подвеждане на бърз ход;
- 2- работен ход;
- 3- оттегляне с работен ход;
- 4- отвеждане с бърз ход.



Фиг.2.6.а) Фиксиран цикъл за струговане G90

В зависимост от стойностите на U и W са възможни четири случая, (фиг.2.6.б) съответно на външно/вътрешно струговане с нарастване/намаляване на диаметъра. В частност, при $R=0$ се получава струговане на цилиндрична повърхнина:

<p>1. $U < 0, W < 0, R < 0$</p>	<p>2. $U > 0, W < 0, R > 0$</p>
<p>3. $U < 0, W < 0, R > 0$ при $R < \frac{U}{2}$</p>	<p>4. $U > 0, W < 0, R < 0$ при $R < \frac{U}{2}$</p>

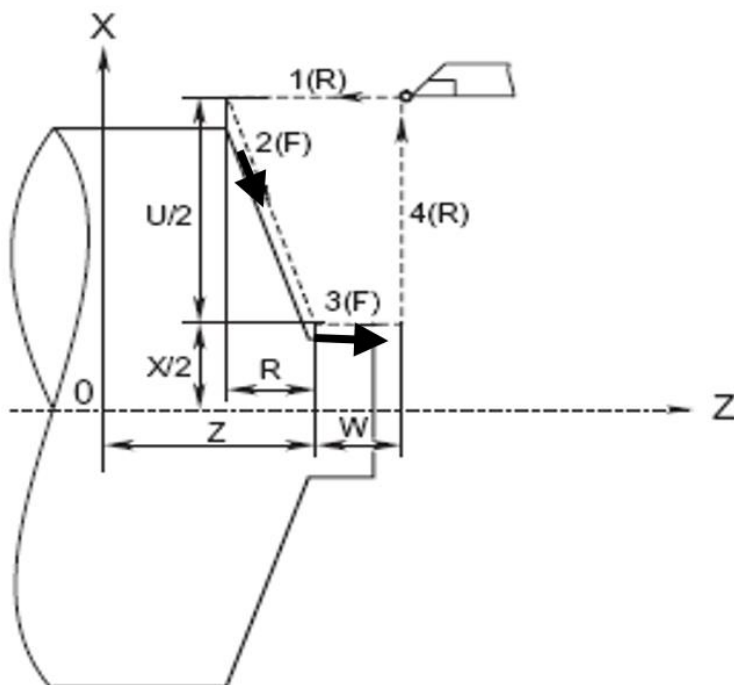
Фиг. 2.6.б) Възможни случаи при цикъл за струговане G90

2.2.3.2. ФИКСИРАН ЦИКЪЛ ЗА ЧЕЛНО СТРУГОВАНЕ G94 (ФИГ.2.7)

Задава се с командата:

G94 X(U)___ Z(W)___ R___ F___ ;

Параметрите и реда на движенията съответстват на предния цикъл.



Фиг. 2.7. Фиксиран цикъл за челно струговане G94

2.2.3.3. ФИКСИРАН ЦИКЪЛ ЗА СТРУГОВАНЕ НА РЕЗБА G92

Цикълът от фиг.2.8 се задава с командата:

G92 X(U)___ Z(W)___ R___ F___ ;

Където

X(U) и Z(W) са координатите на срещуположната на изходната точка; R – конусност на резбата;

F – стъпка на резбата.

Цикълът се състои от четири движения:

1. подвеждане на бърз ход;
2. работен ход;
3. оттегляне с бърз ход;
4. отвеждане с бърз ход.

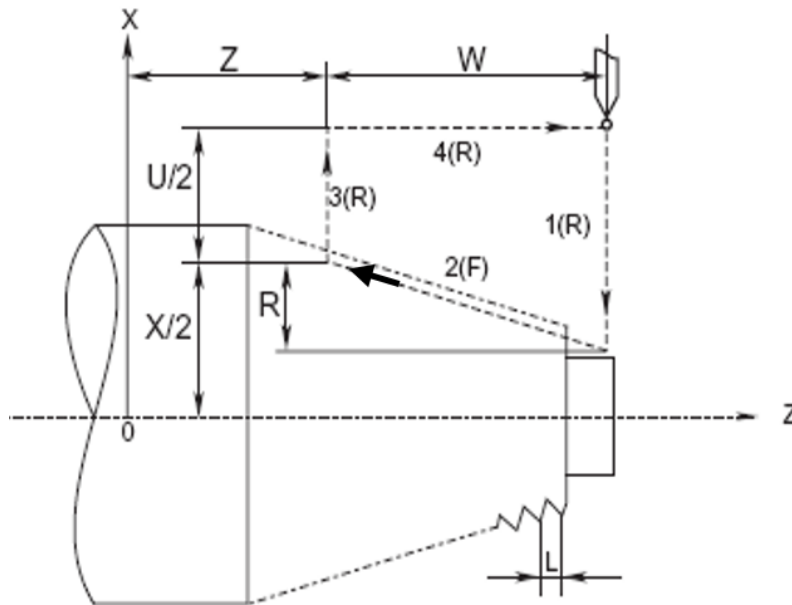
Фиксираните цикли G90, G92, G94, са модални и повторението им се програмира само със задаване на нова координата по съответната ос. Отмяната им става с G0 или G01.

N030 G90 U-8.000 W-66.000 F400 ; - задаване цикъл за струговане;

N031 U-16.000;- повторение на цикъла

N032 U-24.000;- повторение на цикъла

N034 G0 U-1000 W-1000;- отмяна на цикъла



Фиг. 2.8. Фиксиран цикъл за струговане на резба G92

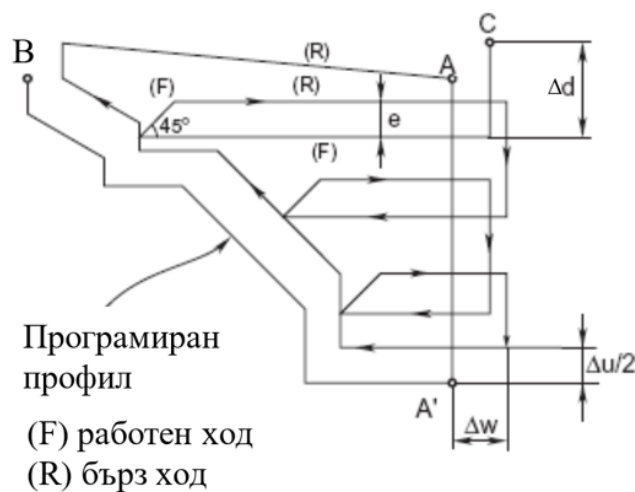
2.2.4. МНОГОПРОХОДНИ ЦИКЛИ

Многопроходните цикли включват повече ходове от фиксираните и броят им се определя от параметър, най-често дълбочина на рязане.

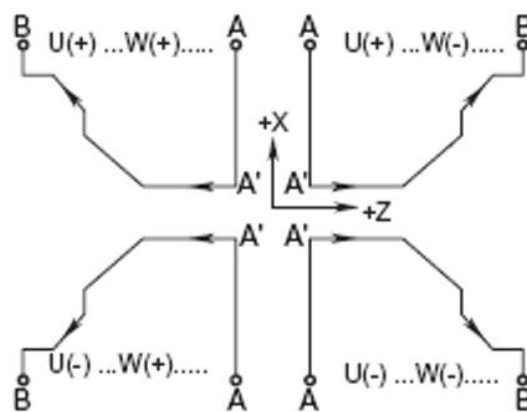
Прилагат се за струговане на профилни повърхнини, наричване на резби, пробиване и др.

2.2.4.1. МНОГОПРОХОДЕН ЦИКЪЛ ЗА ГРУБО ЦИЛИНДРИЧНО СТРУГОВАНЕ G71

Ходовете се формират в зона, ограничена от програмирания профил A'B и правата AA' със стъпка Δd (дълбочина на рязане) (фиг.2.9б). Цикълът завършва с обхождане на профила с изместване Δw и Δu (прибавка за чисто обработване). Профилът A'B трябва да бъде монотонно нарастващ или намаляващ (тип I). При по-нови системи (Fanuc 0 и др.) могат да се обработват и профили с вдлъбнатини (тип II). Възможни са четири варианта (фиг.2.9б) за разположение на обработвания контур.



а)



б)

Фиг. 2.10. Многопроходен цикъл G71

а) формиране на траекторията;

б) варианти за разположение на обработвания профил.

Цикълът се задава с:

G71 U(Δd) R(ϵ);

G71 P(ns) Q(nf) U(Δu) W(Δw) F(f) S(s) T(t);

Където:

U(Δd) - дълбочина на рязане, задава се без знак, модална (стойността е в сила до задаване на нова);

R(ϵ) – отдръпване на ножа при обратен ход, задава се без знак, модална;

P(ns) – номер на първия ред на пасаж от програмата, описващ профила;

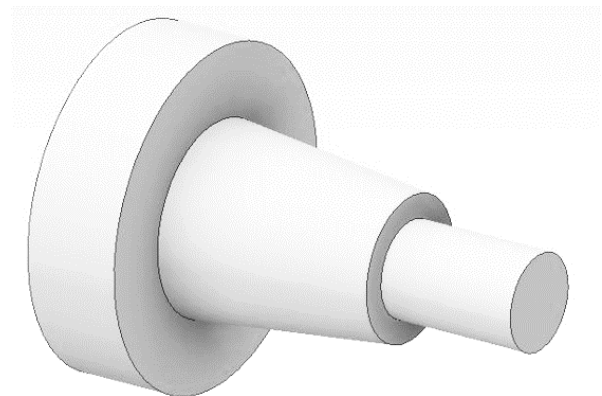
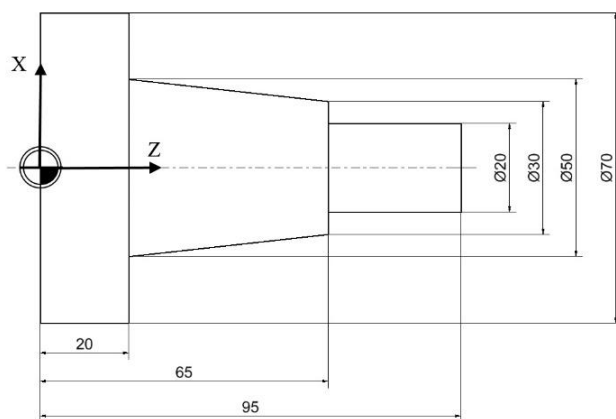
Q(nf) - номер на последния ред на пасаж от програмата, описващ профила;

U(Δu) – отместване (прибавка) по ос X;

W(Δw) - отместване (прибавка) по ос Z;

В изречение (ns) се задава пътят на ножа от точка A до A' с G0 или G01, като в този блок не се програмира преместване по Z. В следващите блокове се описва профила, като се използва линейна и кръгова интерполация. В блоковете от (ns) до (nf) не се включват F, S и T команди.

Пример:



N45 G71 U3. R.5;

Задаване на блоковете

N50 G71 P54 Q70 U0,5 W.1 F.2;

N54 G00 X20.;

Опис на контура

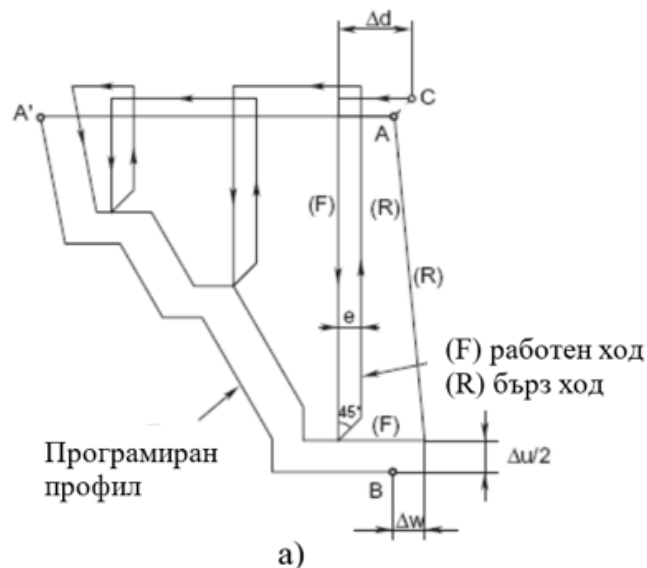
N55 G01 X20. Z65.;

N60 X30.;	
N65 X50. Z20.;	
N70 X70.;	
N75 G00 X200. Z200. T0100;	Позициониране в ИТ
N80 T0200 M06;	АСИ
N85 G50 S2800;	Задаване на максимални обороти.
N90 G96 S240;	Постоянна скорост на рязане.
N95 G00 X75. Z100.;	т. А
N100 G70 P55 Q70;	Задаване на блок
N105 G00 X200. Z200.;	Позициониране в ИТ

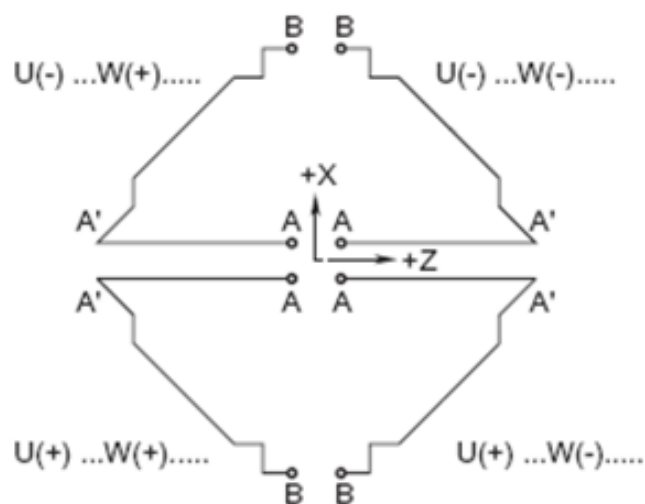
Фиг. 2.10 Пример с използване на цикъл G70 и G71

2.2.4.2. МНОГОПРОХОДЕН ЦИКЪЛ ЗА ГРУБО ЧЕЛНО СТРУГОВАНЕ G72

Този цикъл е аналогичен на G71 с тази разлика, че работните ходове са успоредни на ос X (фиг.2.11а).



Фиг. 2.11 Многопроходен цикъл G72 а) формиране на траекторията



б)

Фиг. 2.11. Многопроходен цикъл G72 б) варианти за разположение на обработвания профил.

Цикълът се задава с:

G72 W(Δd) R(e);

G72 P(ns) Q(nf) U(Δu) W(Δw) F(f) S(s) T(t);

Значенията на W(Δd), R(e), P(ns), Q(nf), U(Δu), W(Δw), F(f), S(s) и T(t) са еквивалентни на цикъл G71. Възможни са също четирите варианта за разположение на обработвания контур.

Тъй като, Δu ; Δw и Δd се задават на едни и същи адреси, значението им се определя от наличието в блока на адреси P(ns) Q(nf).

2.2.4.3. МНОГОПРОХОДЕН ЦИКЪЛ ЗА СТРУГОВАНЕ ПО КОНТУР G73

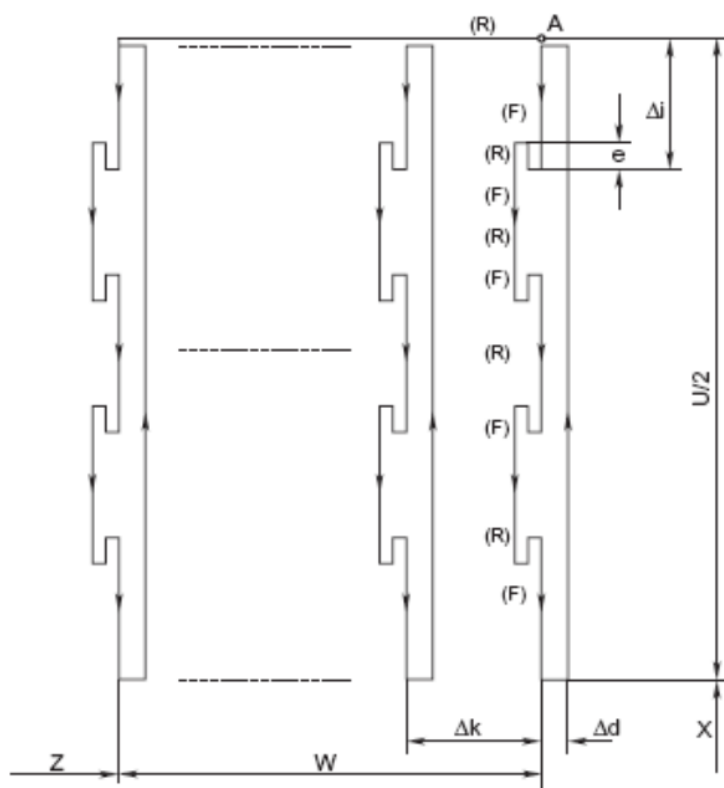
Тази функция позволява многократно повторение на определен контур, като всяко следващо повторение е изместено спрямо предното на зададена стъпка Δu и Δw (фиг.2.12). Цикълът е подходящ за обработване на отливки, изковки или друг вид заготовки с оформен на грубо профил.

f – подаване.

При дълбоко пробиване $X=0$; $U=0$; $\Delta i=0$; $\Delta d=0$, задават се: Z (или W) – дълбочина на отвора, e – стойност на отдръпването по ос Z и Δk -работен ход, след които се чути стружката.

2.2.4.6. ЦИКЪЛ ЗА ЦИЛИНДРИЧНО СТРУГОВАНЕ G75

Този цикъл (фиг.2.14) е аналогичен на G74 с тази разлика, че работните ходове са успоредни на ос X . Използва се при струговане на широки радиални канали или група радиални канали, разположени на еднакво разстояние един от друг.



Фиг. 2.14. Цикъл за челно струговане G75

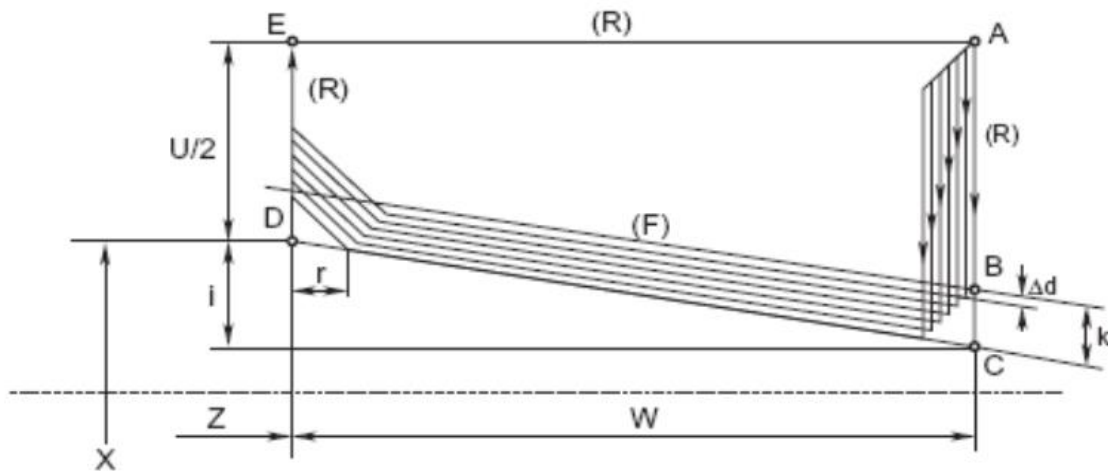
Форматът за задаване на цикъла е:

G75 R(e);

G75 X(U) Z(W) P(Δi) Q(Δk) R(Δd) F(f);

Параметрите са същите както при G74.

2.2.4.7. ЦИКЪЛ ЗА МНОГОПРОХОДНО НАРЯЗВАНЕ НА РЕЗБА - G76



Фиг. 2.15. Многопроходен цикъл G76 - формиране на траекторията

Нарязването на резба може да се програмира чрез многократно повтарящ се цикъл G76 (фиг.2.15). Характерно е, че профила на резбата се генерира (фиг.2.16) при спазване на условието за еднаква площ на сечението на срязвания слой метал.

Форматът за задаване на цикъла е следният:

G76 P(m) (r) (α) Q(Δd min) R(d);

G76 X(U) Z(W) R(i) P(k) Q(Δd) F(l);

Където:

m е брой на повторенията. Тази стойност е модална и се променя със задаването на нова;

r – размер на фаската. Задава се като коефициент от 0.0 до 9.9 спрямо стъпката на резбата;

α – ъгъл при върха на инструмента. Ъгълът има една от следните стойности – 80°; 60°; 55°; 30°; 29° и 0°;

Δd_{\min} – минимална дълбочина на рязане. Когато поредната изчислена дълбочина стане по-малка от зададената стойност (фиг.2.16), то останалите проходи се изпълняват с нея;

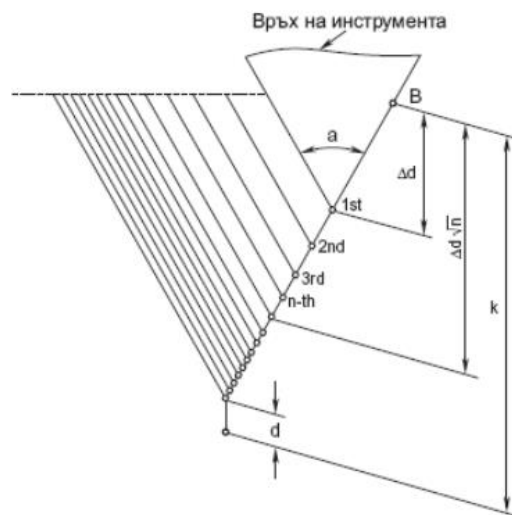
d – прибавка за последния чистови преход;

i – разлика в радиуса (конусност) на резбата. При $i \neq 0$ се получава конусна резба;

k – височина на профила на резбата. Задава се като радиус по ос X ;

Δd – дълбочина на първия преход;

I – стъпка на резбата.



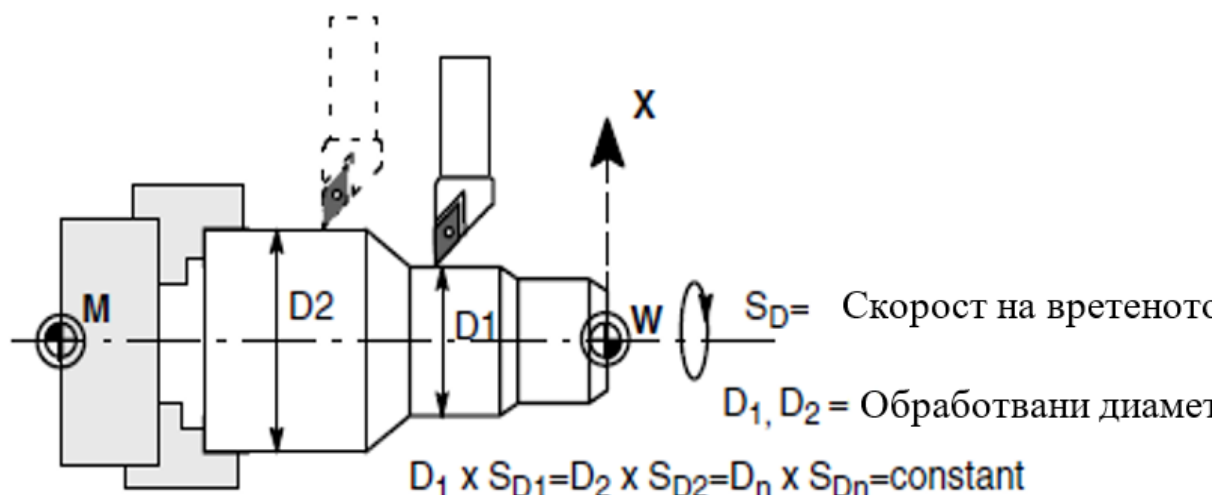
Фиг. 2.16. Многопроходен цикъл G76 - формиране профила на резбата

Параметрите m , r , α , Δd_{\min} и d са модални и се променят със задаването на нови. Те са зададени със съответни параметри в системата за управление но могат да се променят и програмно.

2.5. СПЕЦИАЛИЗИРАНИ ФУНКЦИИ ЗА СТРУГОВАНЕ

2.5.1. ПОСТОЯННА СКОРОСТ НА РЯЗАНЕ G96 И G97

С командата G96 се програмира постоянна скорост на рязане. Скоростта на рязане, като периферна скорост на детайла в зоната на рязане зависи от честотата на въртене на детайла (ъгловата му скорост) и диаметъра на обработваната повърхнина. При промяна на диаметъра, например челно струговане, по съответен начин трябва да се промени и скоростта на вретеното, така че периферната скорост да се запази постоянна, както е показано на фиг.2.17.



Фиг. 2.17. Постоянна скорост на рязане G96

Програмиране:

G96 S__ F__ ; включване на режим постоянна скорост на рязане.

G97; изключване на режим постоянна скорост на рязане.

S- скорост на рязане, в m/min.

F – подавателна скорост в mm/rev, ако е активен режим G95.

Позициониране и скорост на бърз ход:

В режим G96 позициониращите премествания на бърз ход с G0 се изпълняват без промяна на скоростта на вретеното, независимо от промяната на диаметъра

Изисквания към системата за ЦПУ:

Функцията G96 изисква системата за ЦПУ да управлява плавно (безстепенно) честотата на въртене на вретеното на струговата машина.

Ограничение скоростта на вретеното:

Когато обработката е свързана с движение на нож от голям към малък диаметър (например при челно струговане), скоростта на вретеното се увеличава и би трябвало да достигне много високи стойности при диаметър, клонящ към нула. За тези случаи се препоръчва в режим G96 да се въведе ограничение на максималната скорост на вретеното. При системите

“FANUC”, ETA-17 и др. ограничението се въвежда чрез съвместно използване на командата G50 и S__

Отмяна на режим „Постоянна скорост на рязане“:

Отмяната става чрез команда G97. В режим G97 адрес S определя скорост на вретеното, зададена в брой обороти за минута, която е постоянна.

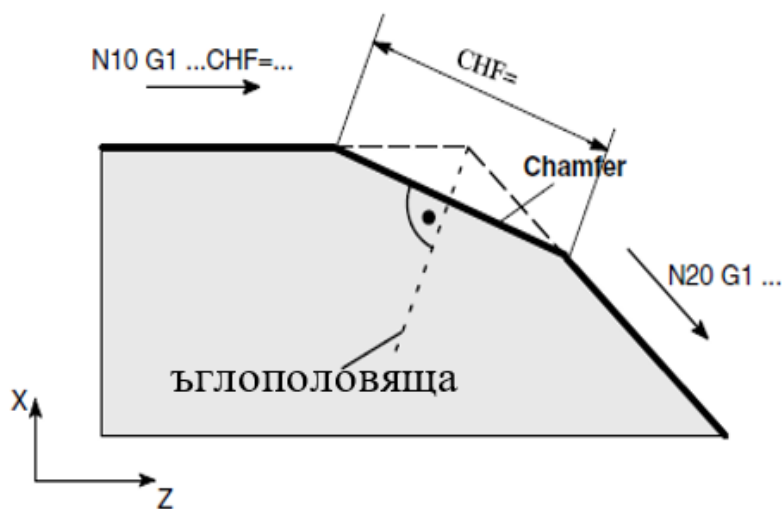
2.5.2. ЗАКРЪГЛЕНИЯ, ФАСКИ

Функция закръгление (фиг.2.19) или фаска (фиг.2.18) може да се въведе за всяка ъглова точка на контура. При системите “FANUC”, ETA-17 и др., команда за закръгление се въвежда с адрес R, за фаска с адрес K.

Пример при FANUC

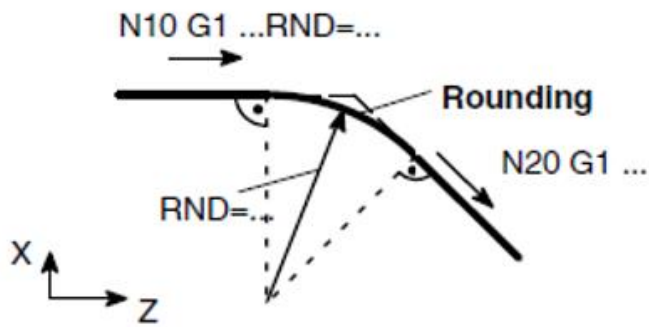
N10 G1 Z__ K5;

N20 G1 X__ Z__;



Фиг. 2.18. Фаска между два линейни елемента

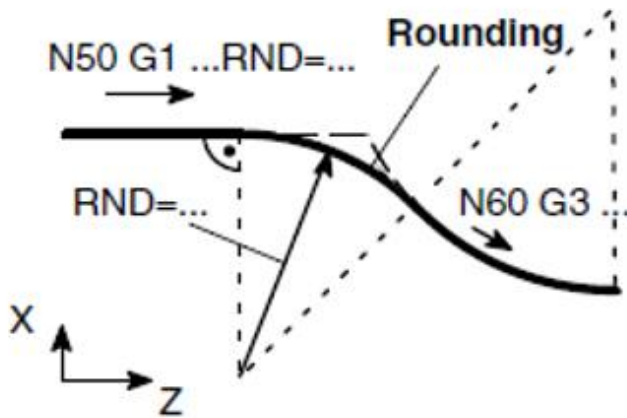
Закръгление RND може да се въведе като преходна тангенциална връзка между два съседни участъка на контура, при всички възможни комбинации права – права; права – дъга и дъга – дъга, както е показано за две от тези комбинации на фиг.2.19.



Пример RND:

N10 G1 Z__ R__;

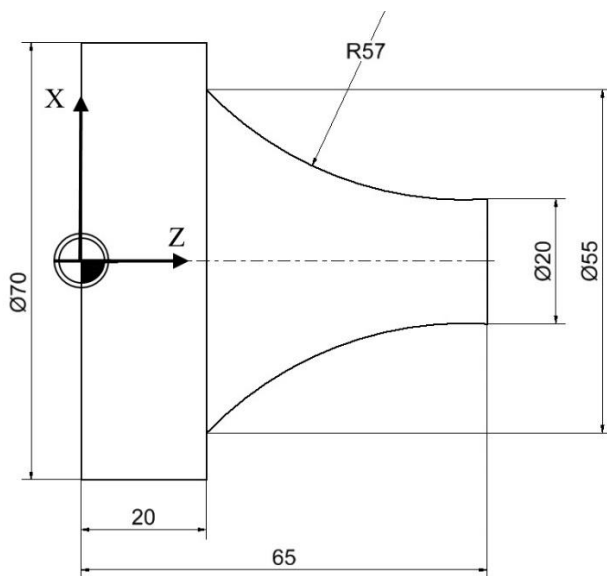
N20 G1 X__ Z__;



N50 G1 Z__ R__;

N60 G3 X__ Z__;

Фиг. 2.19. Закръгление между два елемента



N45 G71 U2.5 R.8;

N50 G71 P55 Q65 U0,8 W.12 F.12;

Задаване на блоковете

N54 G00 X20.;	Опис на контура
N55 G01 Z65.;	
N60 G02 X55. Z20. R57.;	
N65 G01 X80.;	
N75 G00 X200. Z200. T0100;	
N80 T0200 M06;	Позициониране в ИТ
N85 G50 S2800;	АСИ
N90 G96 S240;	Задаване на максимални обороти.
N95 G00 X75. Z100.;	Постоянна скорост на рязане.
N100 G70 P55 Q65;	т. А
N105 G00 X200. Z200.;	Задаване на блок

Фиг. 2.19. Пример за използване на цикли G70 и G71 при обработка на дъги

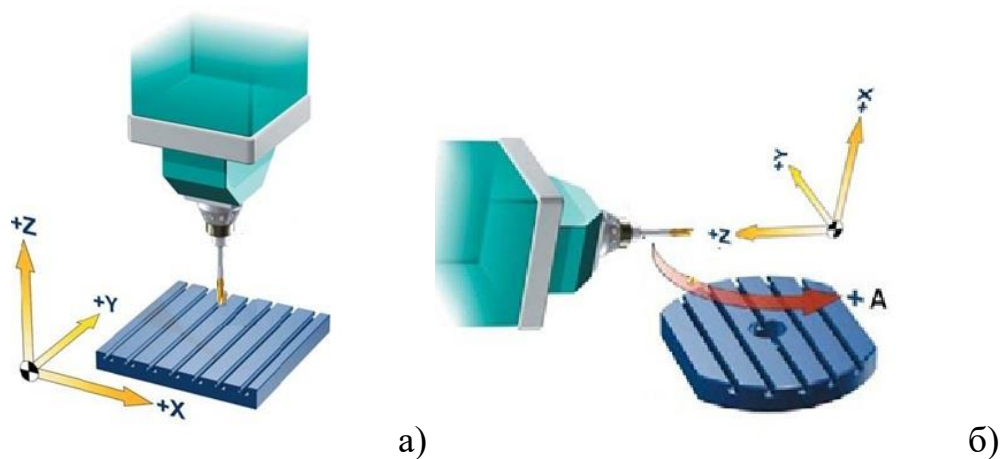
ГЛАВА 3

ПРОГРАМИРАНЕ НА ФРЕЗО-ПРОБИВНИ МАШИНИ И ОБРАБОТВАЩИ ЦЕНТРИ

3.1. СТРУКТУРА И ТЕХНОЛОГИЧНИ ВЪЗМОЖНОСТИ

Технологичните възможности на пробивно-фрезовите машини зависят предимно от типа система за програмно управление (вида на интерполатора). Използват се основно 3 осни системи (3D), също така и 2,5 осни в по-стари машини и 5 осни в съвременните “Mold” машини за обработка на повърхнини на инструменти.

Най-простите структури включват минимум три линейни движения по трите координатни оси. Застъпени са, както варианти с вертикално, така и варианти с хоризонтално вретено. Кинематично движението по трите оси може да се осъществи от масата, от вретеното или съвместно от двете. Вариантите с три движения на вретеното (X, Y и Z) и тези с две движения на вретеното (Y и Z) и едно (по X) на масата се прилагат при големи машини обработващи тежки детайли. При средногабаритните машини, обикновено масата има две движения (X и Y) а вретеното - едно по ос Z. Особено е, че обработването се извършва в една равнина и при необходимост от обработки върху втора и следващи страни на детайла е необходимо преустановяване.

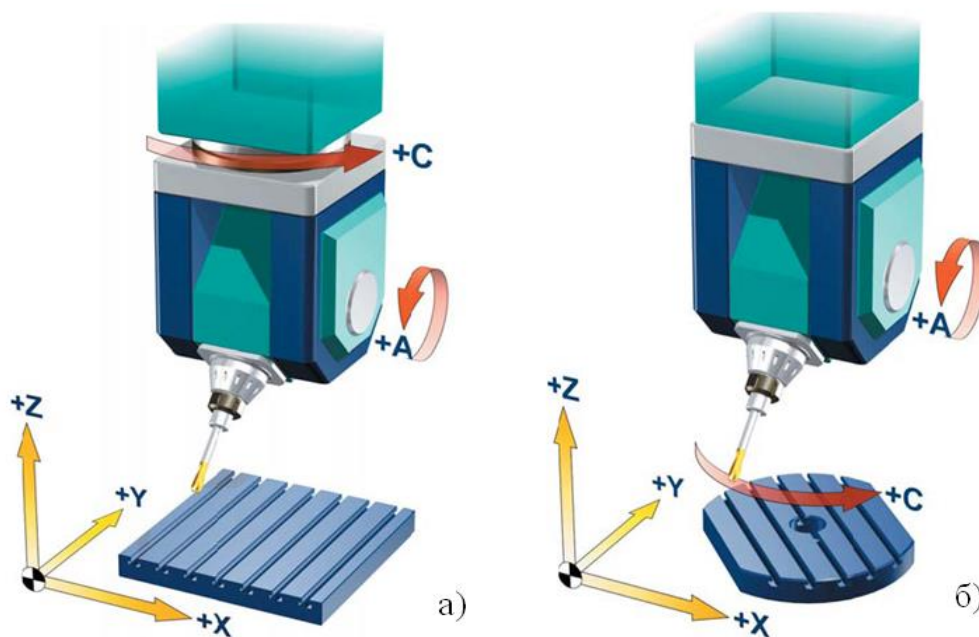


Фиг. 3.1. Структурни варианти на 3 осни машини

а) вертикално вретено ; б) хоризонтално вретено

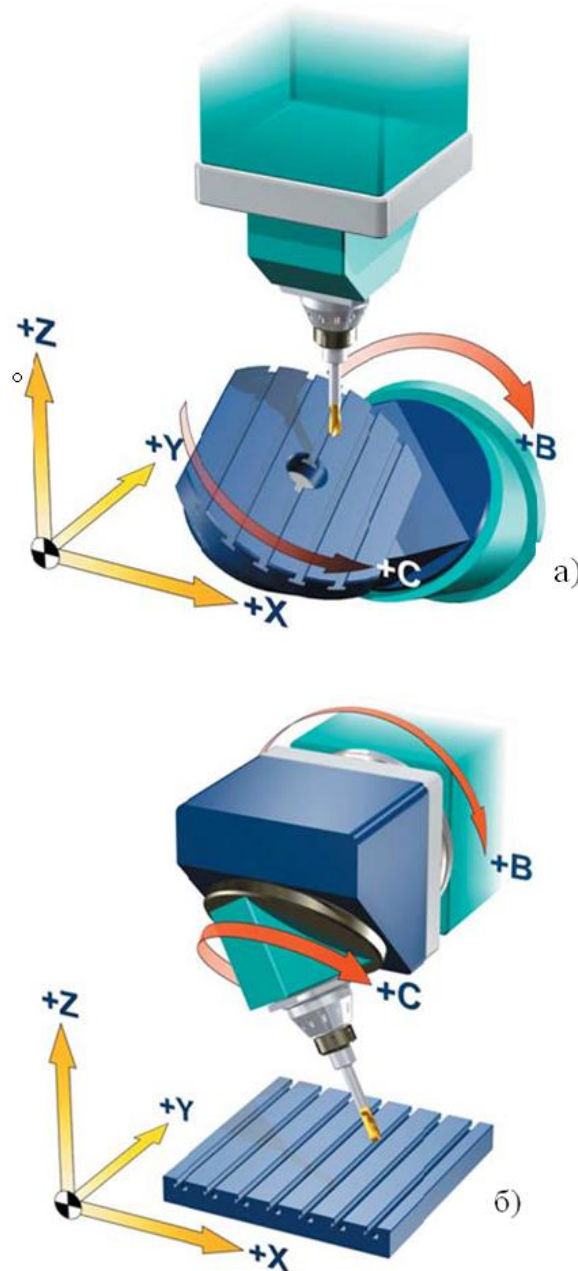
За обработване на призматични детайли, изискващи обработки от няколко страни, като корпуси на предавателни кутии, редуктори и др., са подходящи структурите с допълнителна ос на въртене на масата.

При машините с 3 оси, ориентацията на инструмента остава непроменена по протежение на цялата траектория. При 3 + 2 управляеми оси две от осите са във фиксирано положение при работа на останалите 3, така ориентацията на инструмента или позицията на масата може да се променя. Двете въртящи се оси могат да бъдат както във веригата на инструмента, така и на масата или разпределени между двете и съответно определят различни кинематични решения. Те обхващат целият диапазон от габарити на машините – от най-големите машини с четири движения на главата и едно на масата (по X) предназначени за обработка на големи корпусни детайли на машини и други съоръжения, до малки имащи в някои случаи повече от три движения на масата. Тези структури са най-използваните в момента. При тях няма ограничение за взаиморазположението на повърхнините на детайлите. Прилагат се и при обработки на сложни криволинейни повърхнини, но имат ограничения в набора от стратегии за обработка които могат да се прилагат.



Фиг. 3.2. Структурни варианти на 5 осни машини

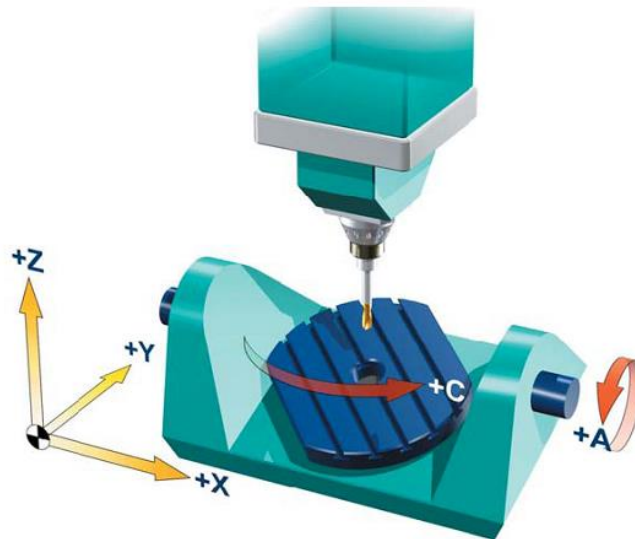
Вариантите а) и б) са приложими при средни и големи машини и машини с автоматична смяна на масата. Характеризират се с голяма маса на обработвания детайл и добър достъп до работната зона за обслужване и настройка. При малки и средни детайли по добри условия за обработка предлагат вариантите показани на фиг. 3.3 а) и б) Те имат по-добри динамични характеристики, но стабилността им е влошена.



Фиг.3.3. Структурни варианти на 5 осни машини

а) две оси на въртене в масата; б) две кръстосани оси на въртене в главата

Много добри показатели предлага структурата с две оси на въртене в масата тип „люлка“. В този случай масата е на две опори в които могат да се монтират директни задвижвания позволяващи съчетаването на добри динамични характеристики, стабилност и добър достъп до работната зона.



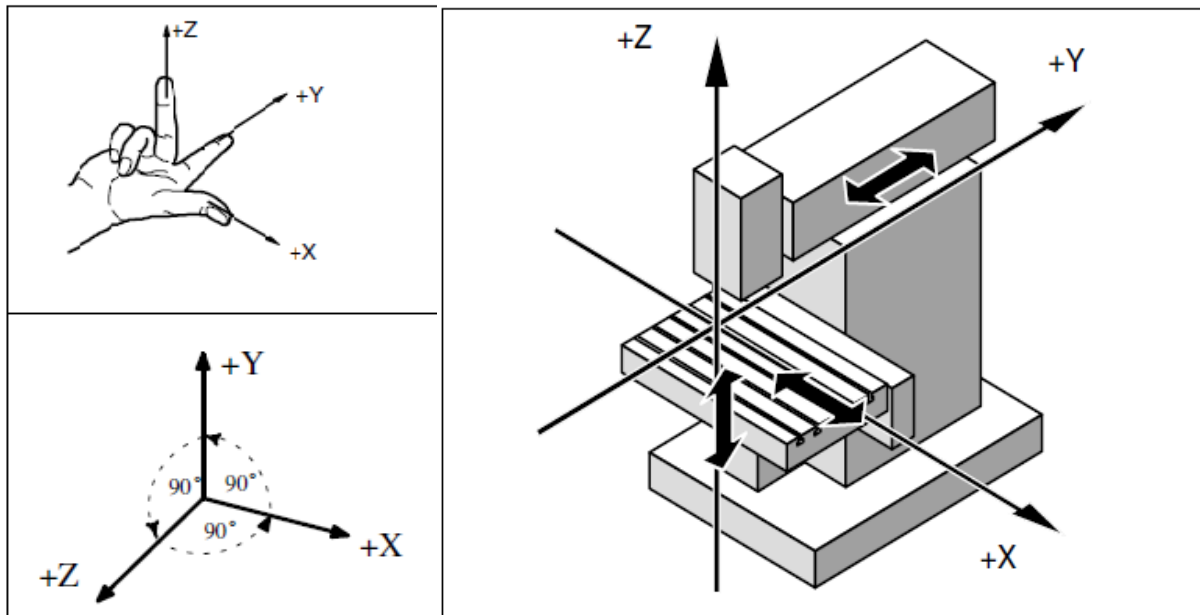
Фиг. 3.4. Структурен вариант на 5 осна машина с две оси на въртене в масата тип „люлка“

Съвременните CNC машини с 5 оси могат да контролират движенията на инструмента синхронно по 5-те оси: 3- линейни оси плюс допълнителни 2 въртящи се оси. Най-често срещаните структурни решения са показани схематично по-горе. Те обработват детайли без ограничения във формата и взаиморазположението на повърхнините.

Съществуват и други структурни решения предлагащи различни предимства, като маса на обработвания детайл, достъп до работната зона за обслужване и настройка, стабилност, динамични характеристики и др. Производителите на металообработващи машини постоянно развиват нови кинематични решения за различните изисквания. Тенденция е разширяване на концентрацията на операции с включване на други принципи на обработване – лазерни, ултразвукови и др. технологии. Системите за CNC също се развиват като се прилагат наноинтерполация повишаваща точността на работа, нови стратегии за обработки, функции за кинематични трансформации от висок клас позволяващи им да управляват и машини със специални кинематики и др.

3.2. КООРДИНАТНИ СИСТЕМИ

При фрезовите машини се използват най-често дясноориентирани координатни системи, като се спазват изискванията на стандартите за правоъгълна координатна система. Посоките на трите декартови координати са показани на фиг.3.5.



Фиг. 3.5. Координатна система при фрезова машина

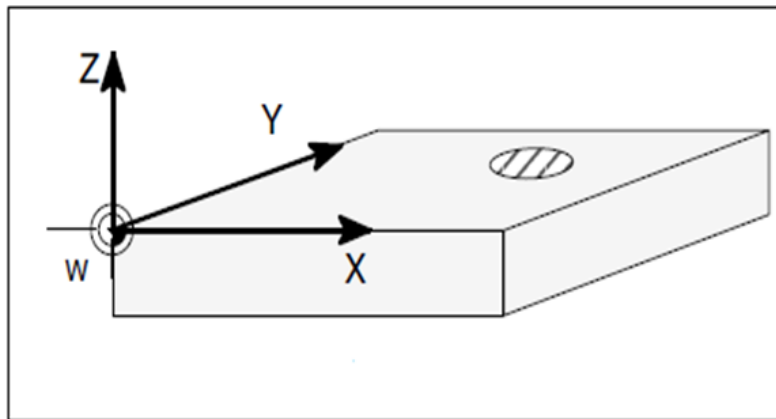
3.2.1. МАШИННА КООРДИНАТНА СИСТЕМА (МКС)

Къде и как е разположена координатната система върху машината зависи от типа на машината. И тук се спазва принципът ос Z да съвпада с оста на вретеното. При вертикално вретено, координатната система е разположена така, както е показано на фиг.3.4.

Коя характерна точка в конструкцията на машината е избрана за начало на машинната координатна система зависи от производителя на машината. Това може да бъде пресечната точка на диагоналите на масата върху работната и повърхност, ъгъл на масата или ос при въртяща се маса. Положението на началото на МКС е определено спрямо опорните точки по трите оси и разстоянията са записани като параметри.

3.2.2. КООРДИНАТНА СИСТЕМА НА ДЕТАЙЛА (КСД)

Началото на координатната система на детайла се избира от програмиста без ограничения в работната зона на машината. Програмистът обикновено не се интересува кой реално извършва подавателното преместване по време на обработката – дали масата с детайла или вретеното с инструмента. Посоките, използвани в програмата са определени при условно приемане, че детайлът е неподвижен, а инструментът извършва главното (въртеливо) и спомагателните - подавателни движения. За това осите в КСД, посочени на фиг.3.6. се наричат оси за програмиране.

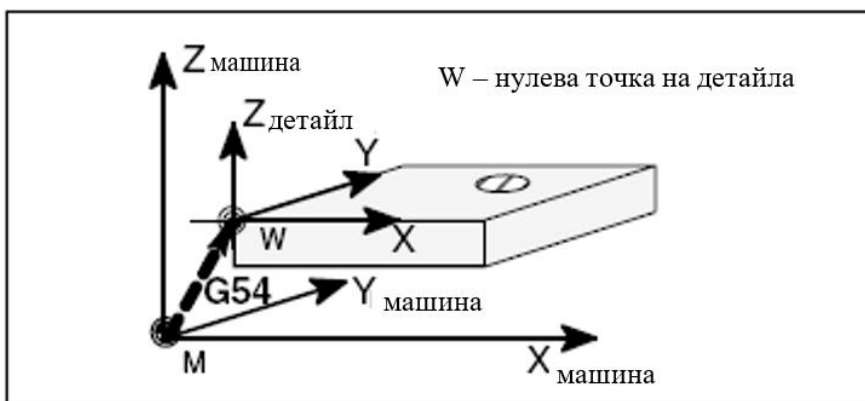


W- начало на координатната система

Фиг.3.6. Координатна система на детайла

3.2.3. УСТАНОВЯВАНЕ НА ЗАГОТОВКАТА

За да се извършат предвидените в технологичния проект и в програмата обработки, заготовката трябва да бъде базирана и закрепена в работната област на машината. Приспособлението за установяване трябва да осигури успоредност на линиите, определящи геометрията на заготовката и координатните оси. Както беше споменато, началото на КСД се определя от програмиста и се означава с кодове от групата G54, G55 до G59, както е показано на фиг.3.7.



Фиг.3.7. Връзка между координатните системи на детайла и машината

Команда G54 посочва координатите на началната точка на КСД в тримерната координатна система на машината.

3.2.4. ИЗБОР НА РАВНИНА

За редица типично фрезови обработки е необходимо да се посочи равнината в която се извършва обработката – например обработка на контур в режим на радиусна компенсация, изпълнение на цикли и др. Разположението на равнините и използваните за избора им G кодове са показани в таблица 3.1.

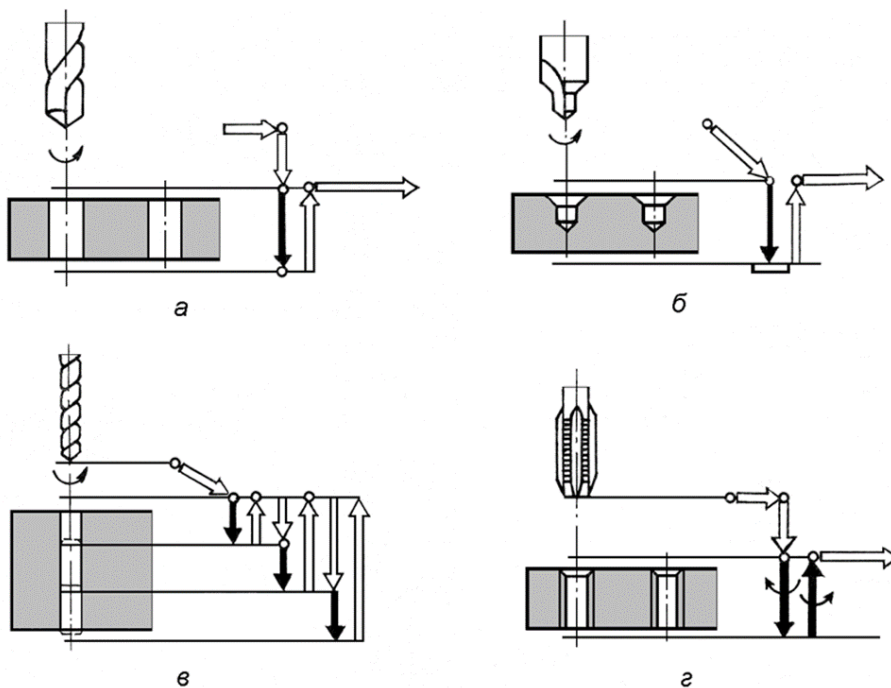
Таблица 3.1 Равнини при фрезо-пробивните машини

G функция	Равнина (абциса / ордината)	Перпендикулярна ос
G17	X/Y	Z
G18	Z/X	Y
G19	Y/Z	X

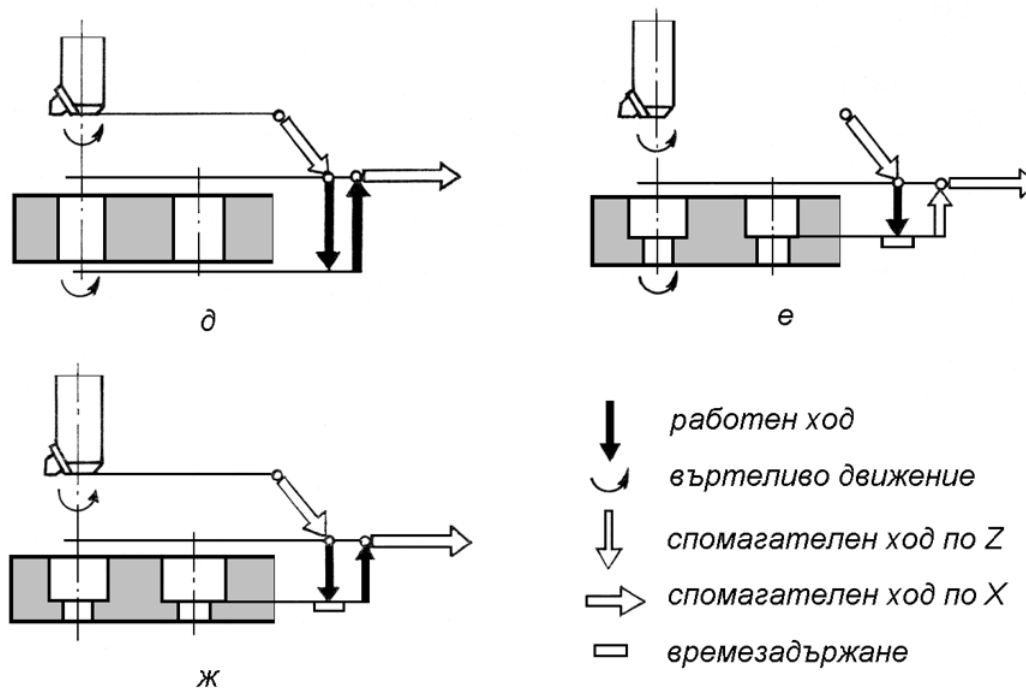
3.2.5. ТЕХНОЛОГИЧНИ ОСОБЕНОСТИ ПРИ ПРОГРАМИРАНЕТО НА ФРЕЗОВИ, ПРОБИВНО-РАЗСТЪРГВАЩИ МАШИНИ И ОБРАБОТВАЩИ ЦЕНТРИ

Специализацията на фрезите, пробивно-разстъргващите машини и обработващите центри обхваща голяма и разнообразна група от призматични, корпусни детайли, детайли за инструменти, турбини и др. Условно можем да ги разделим на две групи – детайли с прости форми на повърхнините (призматични и корпусни) и детайли със сложни форми (пресформи, турбини и др.). Втората група предполага използването на специализиран САМ софтуер за моделиране на обработването и създаване на управляваща програма.

Конструктивно, призматичните и корпусните детайли от първа група включват равнинни повърхнини, скрепителни и лагерни отвори, джобове, бъбрековидни отвори и др. повърхнини с проста форма. Те изискват прости работни движения за обработването им, които могат да се опишат със съответните команди, като последователността на движенията не се променя съществено. Освен това тези елементи са в групи по няколко еднакви. Такива са всички скрепителни отвори, точни лагерни отвори и др. (фиг.3.8)



Фиг. 3.8 а), б), в) и г) Схеми за обработване на отвори



Фиг. 3.8 д), е) и ж) Схеми за обработване на отвори

а) свредловане; б) центроване или подрязване със задържане в края на работния ход; в) дълбоко свредловане с извеждане на свредлото в изходно положение след всеки работен ход; г) нарязване на резба с метчик; д) разстъргване на светъл отвор с отвеждане на инструмента на работен ход в изходно положение; е) разстъргване на светли отвори със задържане на инструмента в края на работния ход и отвеждане на бърз ход в изходно положение; ж) разстъргване със задържане на инструмента в края на работния ход и отвеждане на работен ход в изходно положение)

Технологично, изработването им изисква позициониране в определената точка – център на отвора и изпълнение на последователност от действия, следва позициониране в следващия отвор и повтаряне на същата поредица от действия и така до последния отвор. В общия случай цикълът за обработване на отвор включва следната последователност от действия:

- 1. Позициониране на бърз ход в центъра, избор на честота и посока на въртене на вретеното, включване на въртенето на вретеното;
- 2. Позициониране на бърз ход на инструмента по ос Z в точка, намираща се на безопасно разстояние 1 до 3 мм от повърхнината на заготовката;

- 3. Работен ход по ос Z със зададено подаване до необходимата дълбочина на отвора. В зависимост от дълбочината на отвора движението се осъществява непрекъснато или прекъснато за отстраняване на стружката. В края на работния ход е възможно да се осъществи спиране на подавателното движение с цел изравняване на челото на отвора (времезадържане);
- 4. Подготовка за връщане на инструмента в изходно положение (в зависимост от типа на отвора се изпълнява спиране на вретеното, промяна на посоката на неговото въртене или фиксиране на ъгловото му положение);
- 5. Връщане на инструмента в изходно положение по ос Z със скоростта на бързия ход или на работното подаване (с или без въртене на вретеното).

За облекчаване разработването на управляваща програма, при обработването на детайли включващи от посочените по-горе елементи, са разработени параметрични цикли (наречени фиксирани), които се задействат със съответна G команда и параметри на обработвания отвор. Те са в областта от G74 до G89 и включват цикли за следните технологични преходи:

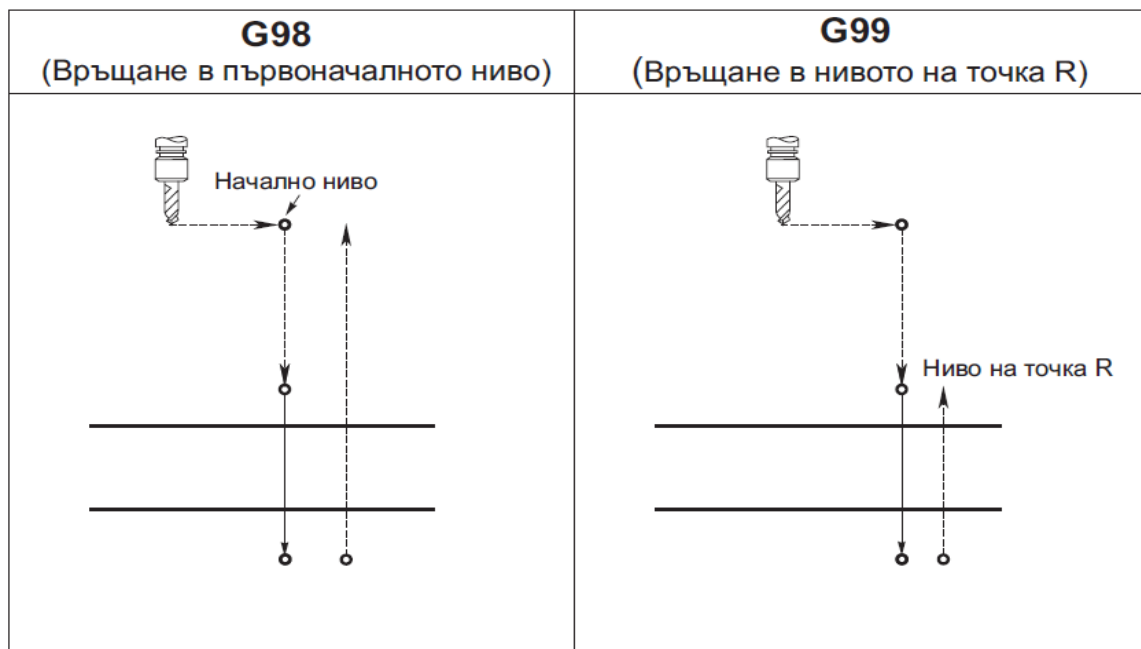
- центроване G81 и пробиване G82 на отвори;
- пробиване на дълбоки отвори с късане G73 или вадене G83 на стружката;
- нарязване на лява G74 или дясна G84 резба с метчик;
- зенкерование G86 или райберование G85 на отвори;
- обработване на обратното чело на отвора G87;
- разстъргване на отвори G76, G86, G88 и G89.

3.3. ПРОГРАМИРАНЕ С ФИКСИРАНИ ЦИКЛИ

Фиксираните цикли G73 до G76 и G81 до G89 са модални команди и остават валидни докато не бъдат отменени. Параметрите на цикъла се задават при стартирането му в точката на първия отвор. За всеки следващ отвор се задават само координати, като данните за дълбочина на отвора и режима се запазват докато не бъдат променени.

При всички цикли връщането на инструмента след достигане до дъното на отвора, може да стане до изходната равнина (начално ниво) или до равнина R (безопасно разстояние). Тези варианти се определят от

командите G98 и G99 (фиг.3.mm) и се прилагат в зависимост от наличието на препятствие по пътя към следващият отвор.



Фиг. 3.9 Схема на връщане на инструмента

Позицията на първият отвор може да бъде зададена в абсолютни (G90) или относителни (G91) координати. При относително задаване чрез параметър K може да се зададе повторение на операцията K пъти през равни разстояния зададени като координати на първи отвор.

Отмяната на цикъла се извършва с команда G80 или команда за движение (G00 до G03).

3.3.1. ФИКСИРАН ЦИКЪЛ ЗА ЦЕНТРОВАНЕ И ПРОБИВАНЕ G81

Този цикъл се използва за центроване и пробиване на отвори. От точка R до дъното на отвора инструмента се движи с работно подаване, след това се връща на бърз ход до нивото зададено с G98 или G99.

Формат G81 X_Y_Z_R_F_K_; където:

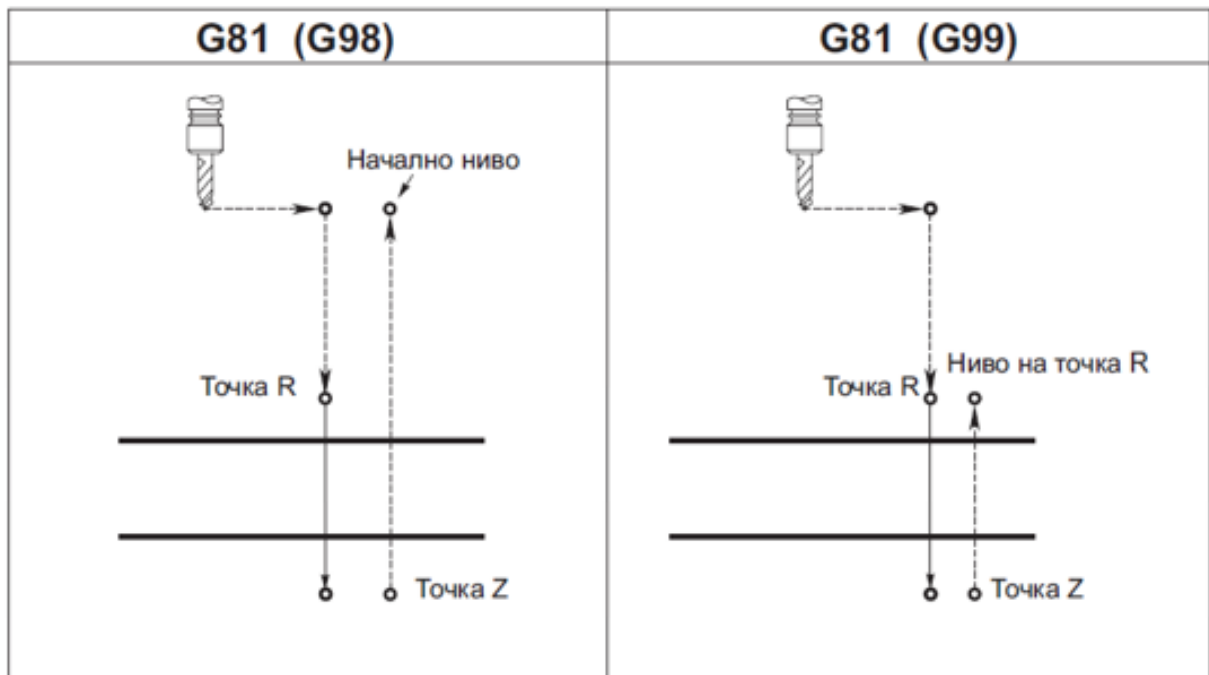
X_Y_ са координатите на центъра на отвора;

Z_ е дълбочината на отвора;

R_ е безопасното разстояние;

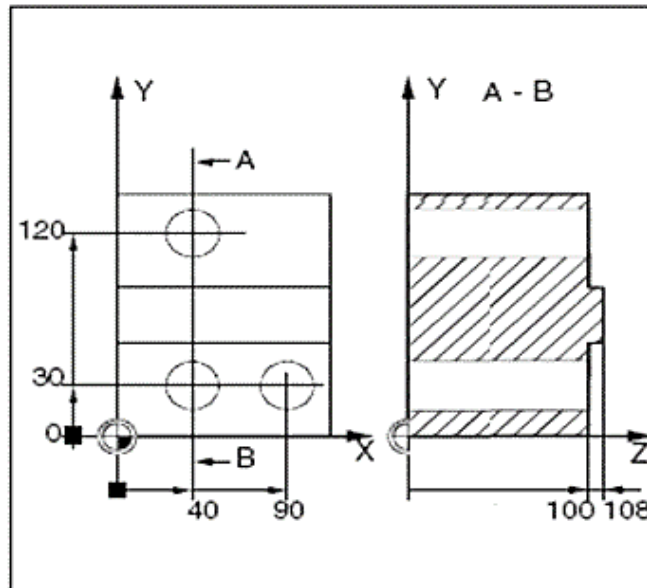
F_ е подаване;

K_ брой повторения.



Фиг. 3.10 Схема на пробивен цикъл

Пример: Пробиване на три отвора с цикъл G81.



T02 M06;

Извикване на сверло $\varnothing 12$ mm

G90 G00 X0. Y0. S500
M03;

Движение до началото на к.с. и завъртане на
вретеното.

G43 G00 H2 Z120.;

Дължинна компенсация и отиване в изходната
равнина (начално ниво).

G99 G81 X90. Y30. Z-5.
R2. F60;

Извикване на цикъл и пробиване на първи отвор
до дълбочина Z-5 за излизане на конуса на
сверлото и връщане на 2 mm над челото на
отвора

X40. G98;

Пробиване на втори отвор и връщане до Z 120
mm за преминнаване над издатината.

Y120.;

Пробиване на трети отвор

G80

Отмяна на цикъла.

3.3.2. ФИКСИРАН ЦИКЪЛ СЪС ЗАДЪРЖАНЕ НА ПОДАВАНЕТО НА ДЪНОТО НА ОТВОРА G82

Този цикъл се използва за обработване на глухи отвори, като се гарантира равнинност на дъното чрез спиране на подавателното движение за известна време. Прилага се при пробиване, зенкерование, разстъргване на отвори, обработка на фаски и др.. От точка R до дъното на отвора инструмента се движи с работно подаване, при достигане на зададената дълбочина подаването спира за P, s, след това се връща на бърз ход до нивото зададено с G98 или G99.

Формат G82 X_Y_Z_R_P_F_K_; където:

X_Y_ са координатите на центъра на отвора;

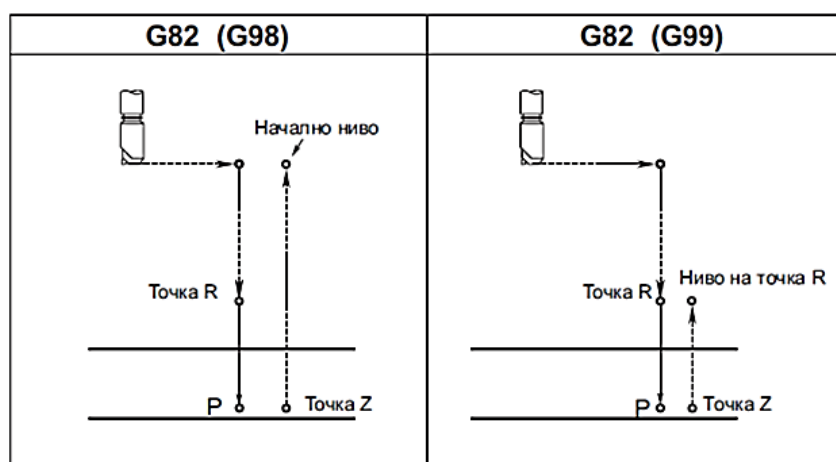
Z_ е дълбочината на отвора;

R_ е безопасното разстояние;

F_ е подаване;

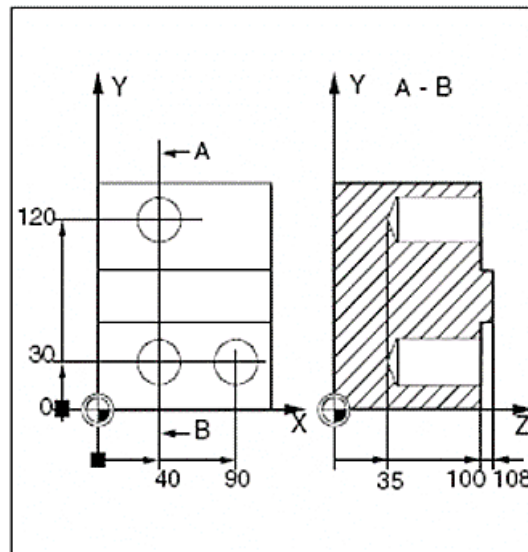
P_ е време за задържане на подаването;

K_ брой повторения.



Фиг. 3.11 Схема на фиксиран цикъл със задържане на подаването на дъното на отвора

Пример: Пробиване на три отвора с цикъл G82.



T02 M06;

Извикване на свредло $\varnothing 12$ mm

G90 G00 X0. Y0. S500
M03;

Движение до началото на к.с. и завъртане на
вретеното

G43 G00 H2 Z120.;

Дължинна компенсация и отиване в изходната
равнина (начално ниво)

G99 G82 X90. Y30. Z35.
R2. P0.5 F60;

Извикване на цикъл и пробиване на първи отвор
до дълбочина Z35. и задържане 0,5s

X40. G98;

Пробиване на втори отвор и подготовка за
преминаване над издатината

Y120.;

Пробиване на трети отвор

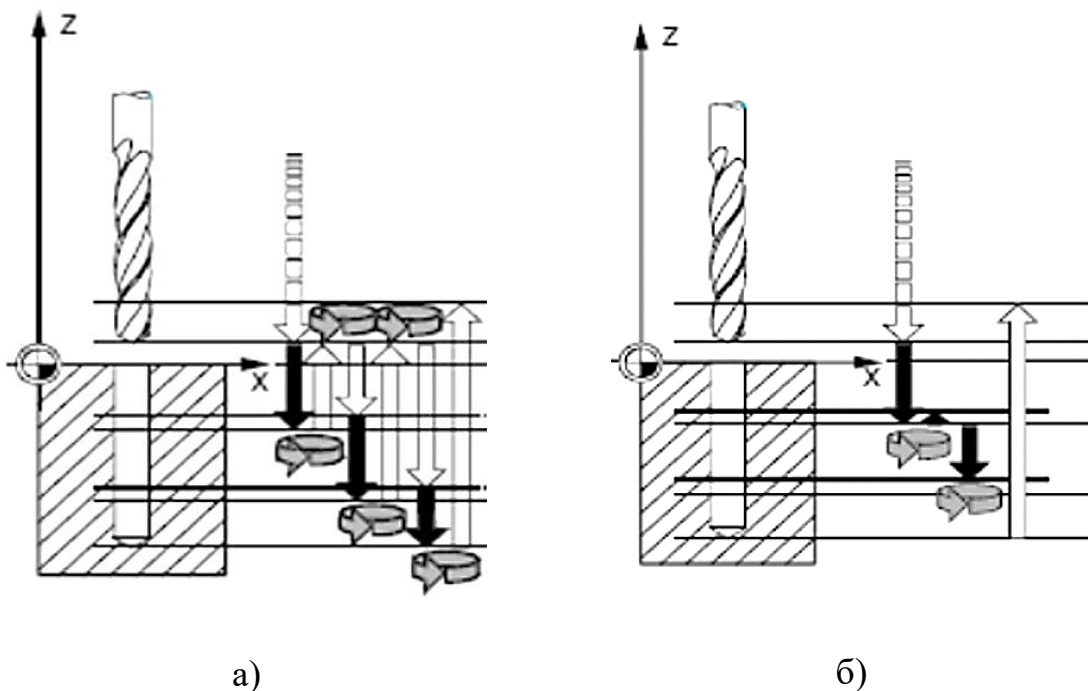
G80;

Отмяна на цикъла

3.3.3. ЦИКЛИ ЗА ПРОБИВАНЕ НА ДЪЛБОКИ ОТВОРИ G73 И G83

Циклите са предназначени за пробиване на отвори с дълбочина по-голяма от $3D$ при специални мерки за отстраняване на стружките от отвора и работната зона. Използват се две стратегии (варианти) на работа според вида на обработвания материал. При първият вариант G83 - с изваждане на свредлото. За отстраняване на стружката в цикъла е предвидено след достигане на зададена дълбочина, изваждане на свредлото на бърз ход с цел отстраняване на получената стружка, въвеждане на бърз ход до безопасно разстояние от дъното на отвора и следващо пробиване. Цикълът е предназначен за материали даващи прекъсната стружка (чугун, месинг и др.).

При вторият вариант G73 след достигане на зададената дълбочина се задържа без подаване с цел откъсване и отстраняване на стружката след което следва нов работен ход. Цикълът е подходящ за материали даващи непрекъсната стружка (стомана, алуминиеви сплави и др.).



Фиг. 3.12 Цикли за дълбоко пробиване на отвори

а) G83 - с изваждане на свредлото за отстраняване на стружката

б) G73 - със задържане при достигане на зададена дълбочина

Формат G83 X_Y_Z_R_Q_F_K_; и

G73 X_Y_Z_R_Q_F_K_; където:

X_Y_ са координатите на центъра на отвора;

Z_ е дълбочината на отвора;

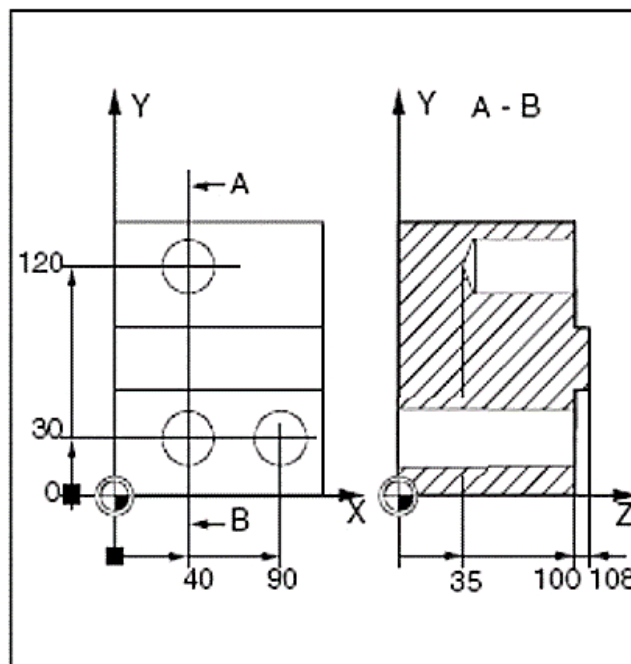
R_ е безопасното разстояние;

Q_ е дълбочина на еднократно пробиване;

F_ е подаване;

K_ брой повторения.

Пример: Пробиване на три отвора с цикъл G83.



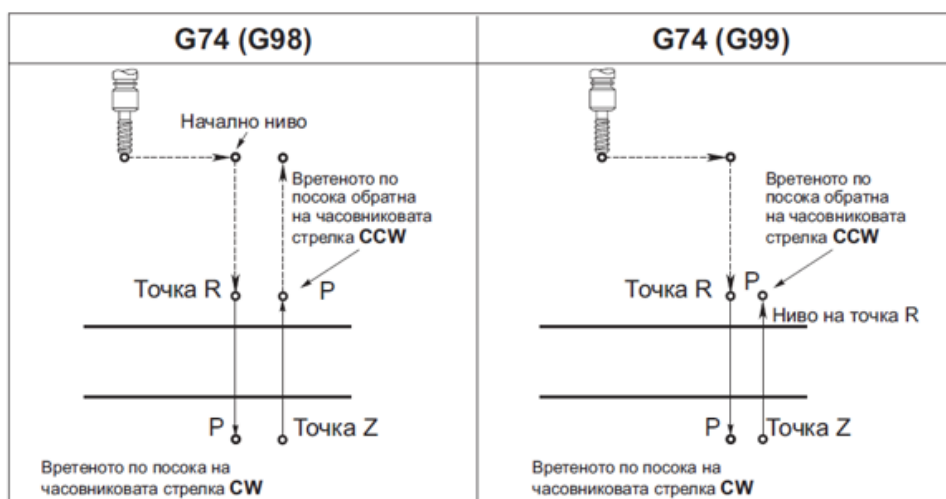
G90 G00 X0. Y0. S500
M03;

Движение до началото на к.с. и завъртане на
вретеното

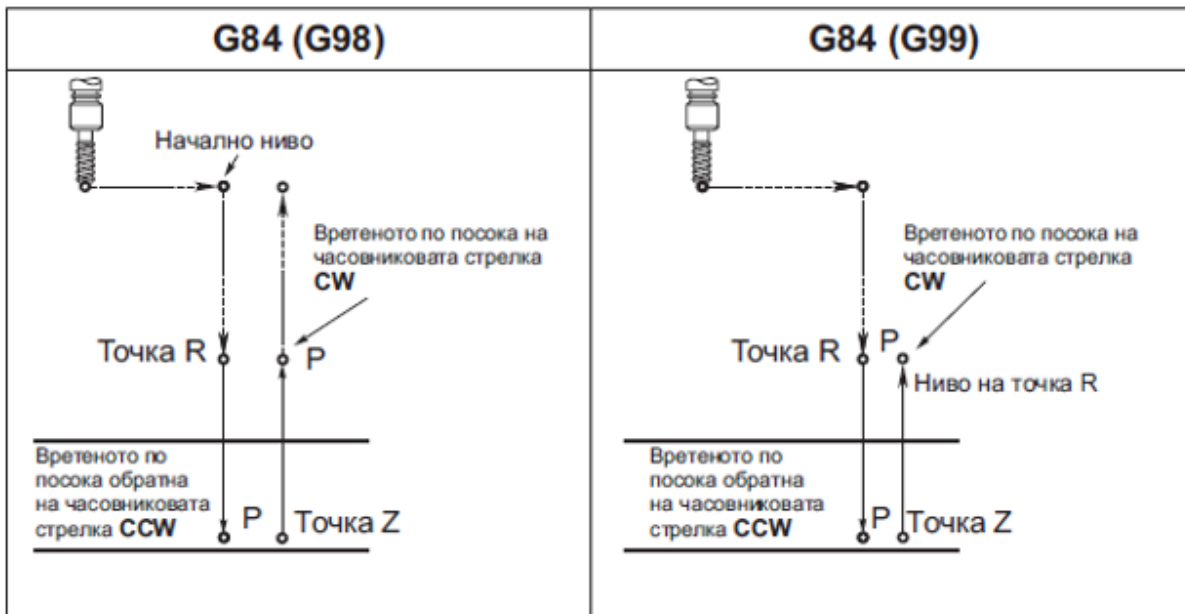
G43 G00 H2 Z120.;	Дължинна компенсация и отиване в изходната равнина (начално ниво)
G99 G83 X90. Y30. Z-5. R2. Q10. F60;	Извикване на цикъл и пробиване на първи отвор до дълбочина Z-5 на стъпки по 10 mm с изваждане на свредлото.
X40. G98;	Пробиване на втори отвор и подготовка за преминнаване над издатината.
Y120. Z35.0;	Смяна на дълбочината и пробиване на трети отвор.
G80;	Отмяна на цикъла.

3.3.4. ЦИКЛИ ЗА НАРЯЗВАНЕ НА ЛЯВА G74 И ДЯСНА G84 РЕЗБА С МЕТЧИК

Циклите са предназначени за нарязване на лява (G74) или дясна (G84) резба с метчик. При по-стари машини, където няма връзка между подаването по ос Z и въртенето на вретеното е наложително използването на специални компенсиращи патроници. Разликата в циклите е последователността на посоките на въртене на вретеното.



Фиг. 3.13 Схема на фиксиран цикъл за нарязване на лява резба



Фиг. 3.14 Схема на фиксиран цикъл за нарязване на дясна резба

Формат G84 X_Y_Z_R_P_F_K_; и

G74 X_Y_Z_R_P_F_K_; където:

X_Y_ са координатите на центъра на отвора;

Z_ е дълбочината на отвора;

R_ е безопасното разстояние;

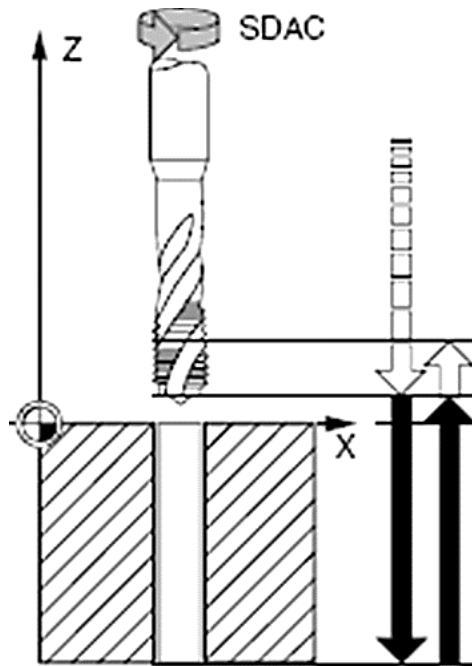
P_ е дълбочина на еднократно пробияне;

F_ е подаване;

Подаването се определя от стъпката на резбата p и честотата на въртене n по зависимостта

$$F = p \cdot n$$

Пример: Нарязване на резба M12x1.25 с работна дълбочина 50 mm в три отвора с цикъл G84.



G90 G00 X0. Y0. Движение до началото на к.с. и задаване на честота на S200;

G43 G00 H2 Z120.; Дължинна компенсация и отиване в изходната равнина (начално ниво)

G91 G99 G84 X90. Извикване на цикъл и нарязване на резба в първи Y30. Z-60. R2. P1. отвор на дълбочина 60 mm (50 mm + 10 mm непълна височина на профила) със скорост на подаване $F=1,25 \cdot 200=250$ mm/min.

Следва относително задаване на координатите

X-50. G98; Нарязване на втори отвор и подготовка за преминаване над издатината

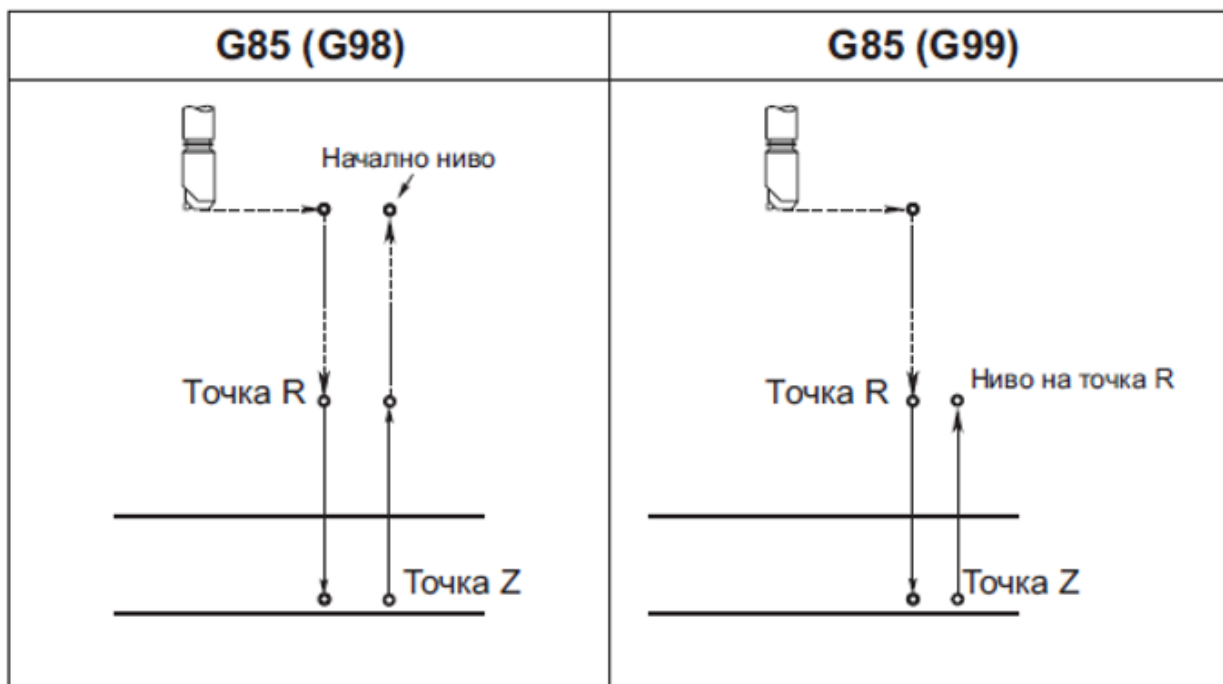
Y90.; Нарязване на резба в трети отвор

G80; Отмяна на цикъла

3.3.5. ЦИКЛИ ЗА РАЗСТЪРГВАНЕ НА ТОЧНИ ОТВОРИ G85, G86, G88, G89 и G76, G87

Циклите G85, G86, G88, G89 и G76, G87 се използват за разстъргване на отвори, като основните разлики са в изтеглянето на инструмента след обработката на отвора.

При цикъл G85 изтеглянето на инструмента е с работно подаване при което е възможно „разбиване“ на отвора. Подходящ е за райбероване на отвори.



Фиг. 3.15 Схема на фиксиран цикъл за разстъргване G85

Формат G85 X_Y_Z_R_F_K_

където:

X_Y_ са координатите на центъра на отвора;

Z_ е дълбочината на отвора;

R_ е безопасното разстояние;

F_ е подаване.

При цикъл G86 изтеглянето на инструмента е на бърз ход при спряно въртене на вретеното. В резултат на еластични деформации е възможно повреждане на инструмента или оставяне на вертикална следа по повърхността на отвора.

G86 X_Y_Z_R_F_K_; (вретеното спира в дъното на отвора)

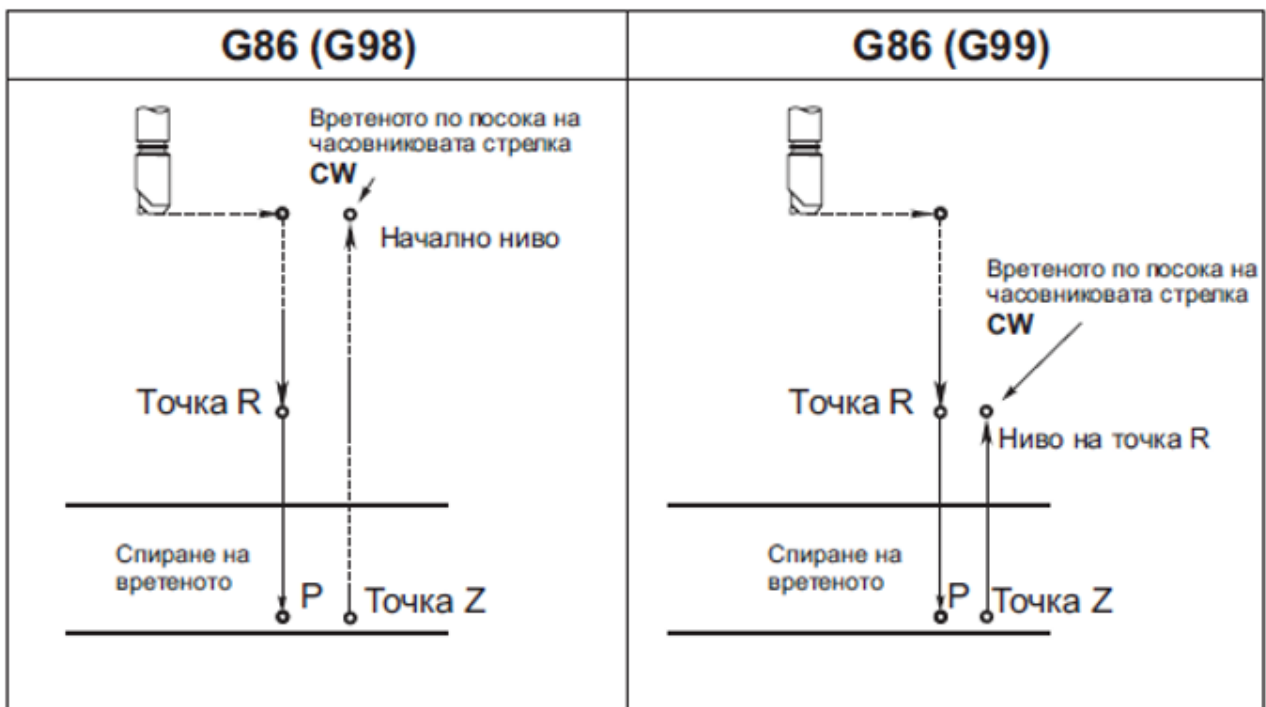
където:

X_Y_ са координатите на центъра на отвора;

Z_ е дълбочината на отвора;

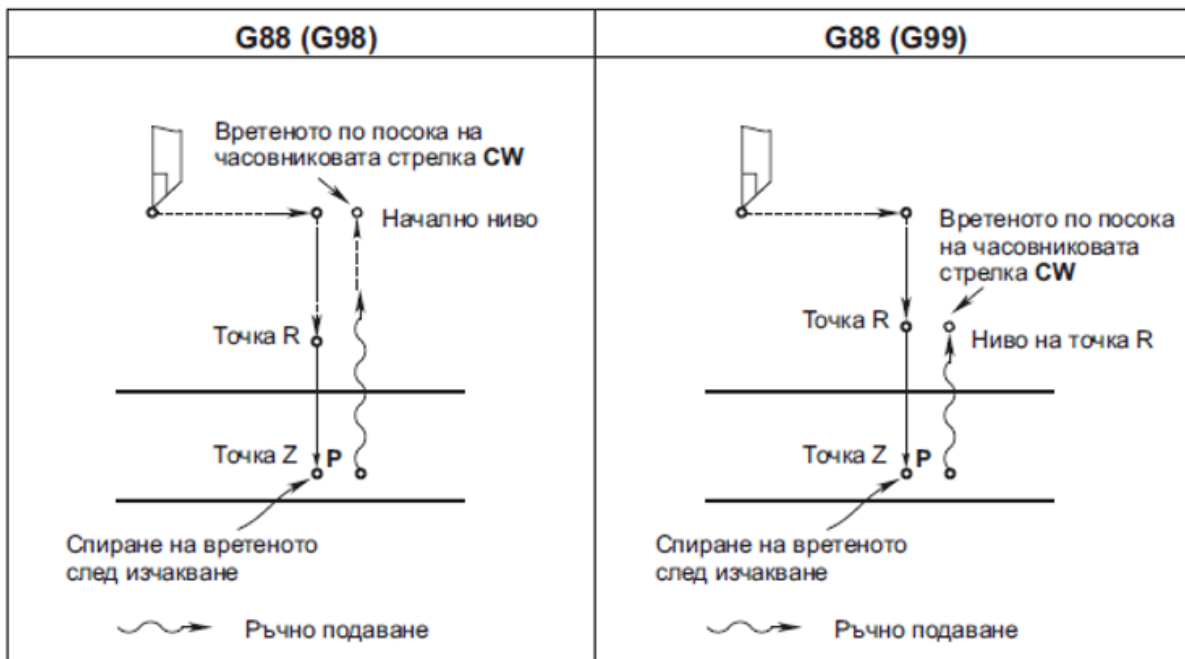
R_ е безопасното разстояние;

F_ е подаване.



Фиг. 3.16 Схема на фиксиран цикъл за разстъргване G86

Цикъл G88 е предназначен за разстъргване на отвори, като изваждането на инструмента се извършва ръчно.



Фиг. 3.18 Схема на фиксиран цикъл за разстъргване G88

Формат G88 X_Y_Z_R_P_F_K_;

X_Y_ са координатите на центъра на отвора;

Z_ е дълбочината на отвора;

R_ е безопасното разстояние;

P_ е дълбочина на еднократно пробиване;

F_ е подаване;

K_ брой повторения.

След достигане на дълбочината на отвора цикълът спира и управлението се поема от оператора. В ръчен режим инструмента се оттегля

от стената и изважда от отвора, след което продължава изпълнението на програмата.

Цикъл G89 е аналогичен на G85, като разликата е в изчакването на дъното на отвора за получаване на равна повърхнина.

G89 X_Y_Z_R_P_F_K_;

където:

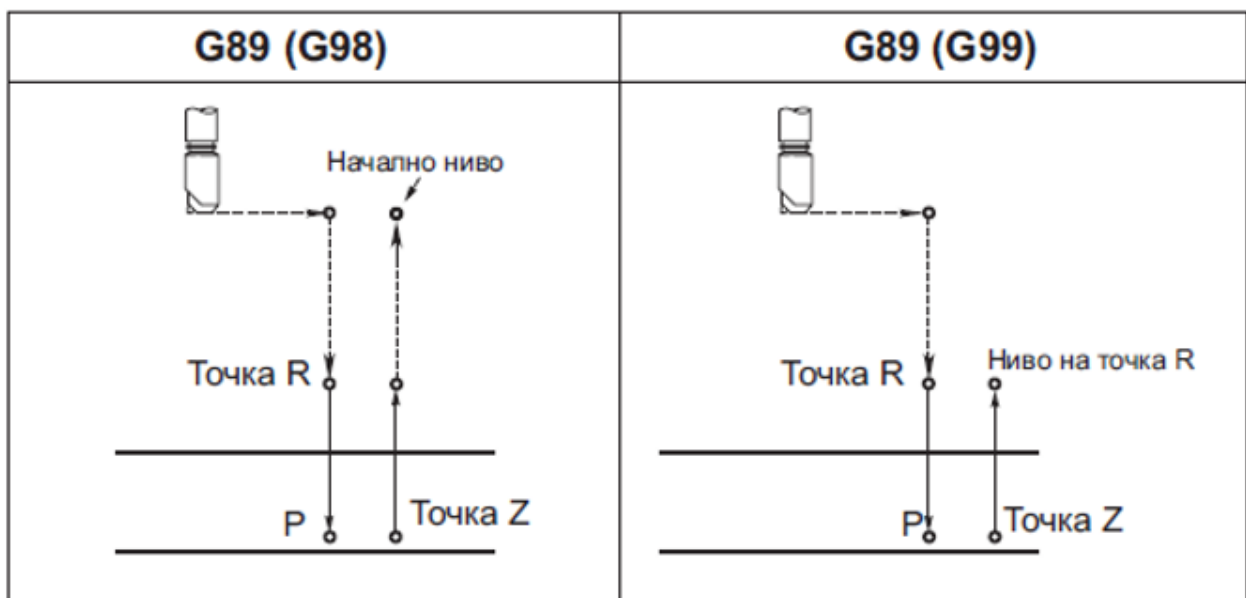
X_Y_ са координатите на центъра на отвора;

Z_ е дълбочината на отвора;

R_ е безопасното разстояние;

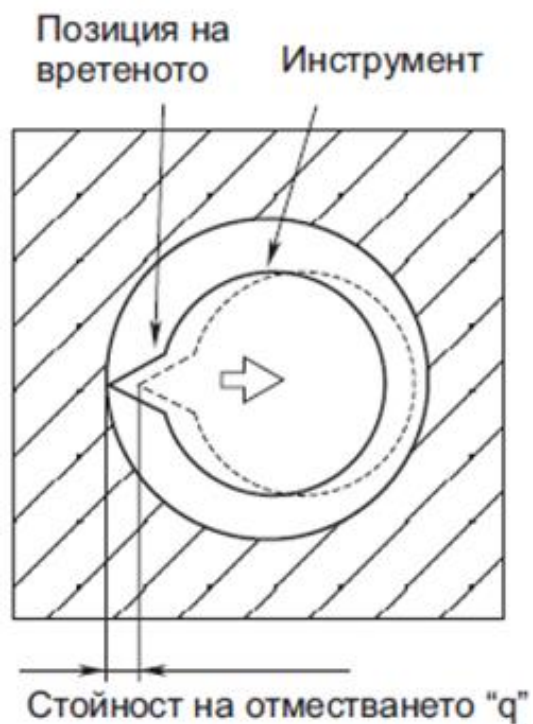
P_ е изчакване в дъното на отвора

F_ е подаване.



Фиг. 3.19 Схема на фиксиран цикъл за разстъргване G89

Цикъл G87 е предназначен за обратно разстъргване при което подаването по ос Z е в положителна посока. Необходимо е машината да има функция за ориентирано спиране на вретеното.



G87 (G98)	G87 (G99)
<p>Вретеното по посока на часовниковата стрелка CW</p> <p>OSS</p> <p>q</p> <p>Point Z</p> <p>P</p> <p>Вретеното по посока на часовниковата стрелка CW</p> <p>Точка R</p>	<p>Не се употребява</p>

Фиг. 3.17 Схема на фиксиран цикъл за разстъргване G87

Формат G87 X_Y_Z_R_Q_P_F_K_;

където:

X_Y_ са координатите на центъра на отвора;

Z_ е дълбочината на отвора;

R_ е безопасното разстояние;

Q_ изместване на оста на инструмента;

P_ е изчакване в дъното на отвора;

F_ е подаване.

След позициониране в центъра на отвора с координати X и Y, вретеното спира на определена ъглова позиция. Инструментът се предвижва в посока обратна на върха си на разстояние q след което влиза в отвора на бърз ход до точка R. Следва обратно преместване на q (в посоката на върха) и завъртане на вретеното. Разстъргването на отвора се извършва в положителна посока (нагоре) до зададеното ниво Z. В точка Z вретеното спира в определената ъглова позиция. Инструментът се предвижва отново в посока обратна на върха си на разстояние q след което излиза от отвора на бърз ход и се връща в точката с координати X и Y.

Цикъл G76 е предназначен за прецизно разстъргване. Необходимо е машината да има функция за ориентирано спиране на вретеното.

Формат G87 X_Y_Z_R_Q_P_F_K_;

където:

X_Y_ са координатите на центъра на отвора;

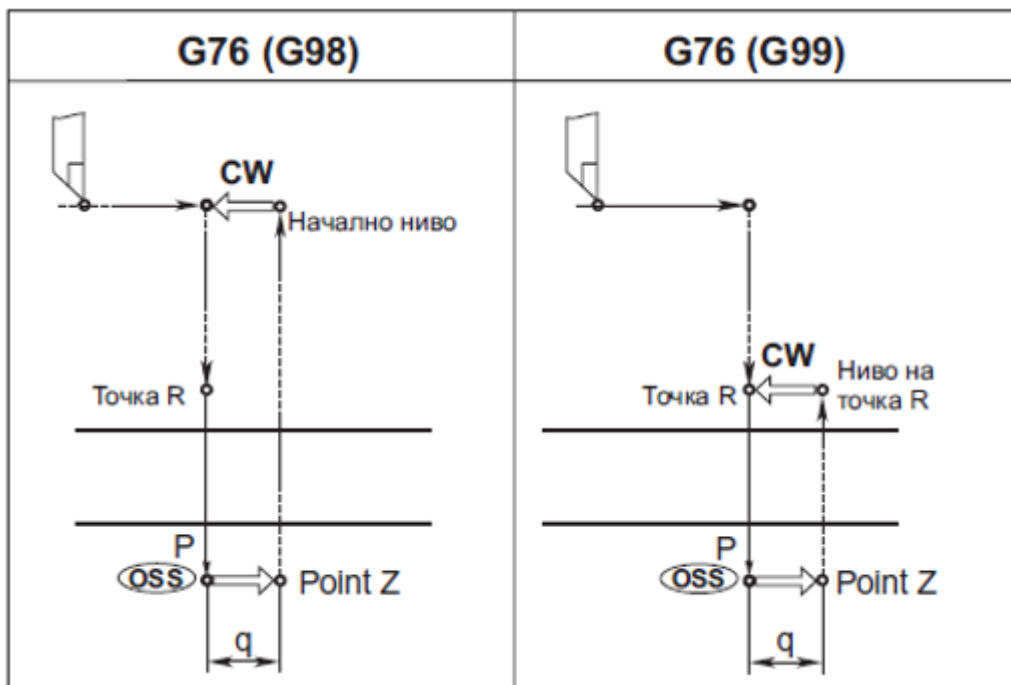
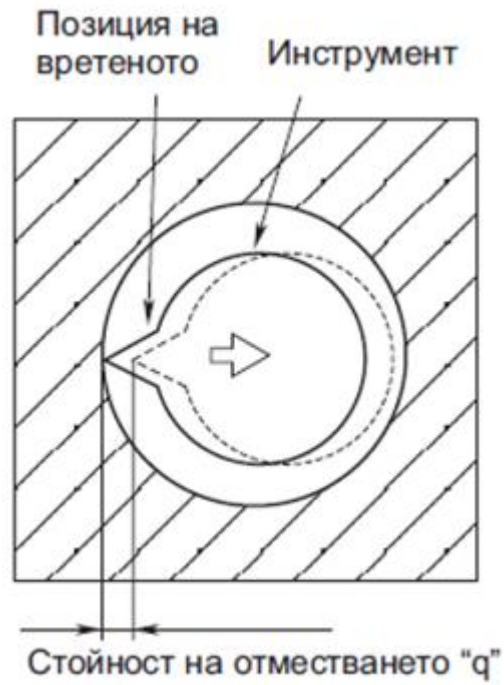
Z_ е дълбочината на отвора;

R_ е безопасното разстояние;

Q_ осово изместване на инструмента;

$R_$ е дълбочина на еднократно пробиване;

$F_$ е подаване.



Фиг. 3.18 Схемa на фиксиран цикъл за разстъргване G76

След достигане до дъното на отвора и задържане на подаването, (ако е зададено) вретеното спира в определено ъглово положение и инструментът се предвижда в посока обратна на върха си на разстояние q , след което се изважда на бърз ход. Така се гарантира, че повърхността на детайла няма да се повреди.

Таблица 3.2

Обобщаване на приложимостта на пробивно-разстързващите цикли

<i>G код</i>	<i>Пробивна обработка, с посока -Z</i>	<i>Обработка дъното на отвора</i>	<i>Изтегляне в посока +Z</i>	<i>Приложение</i>
G73	Подаване с прекъсване		Бърз ход	За стружко чупене
G74	Подаване	Задържане и ротация на вретеното ПЧС	Подаване	Цикъл за нарязване на лява резба
G76	Подаване	Посока на вретено	Бърз ход	Прецизно разстъргване
G80	-	-	-	Отмяна
G81	Подаване	-	Бърз ход	Цикъл за пробиване
G82	Подаване	Задържане	Бърз ход	Цикъл за пробиване и задържане

G83	Прекъснато подаване с изтегляне до R	-	Бърз ход	Цикъл за пробиване с изваждане на стружката
G84	Подаване	Задържане и ротация на вретеното ОЧС	Подаване	Цикъл за нарязване на резба
G85	Подаване	-	Подаване	Цикъл за разстъргване
G86	Подаване	Стоп на вретеното	Бърз ход	Цикъл за разстъргване
G87	Бърз ход	Ротация на вретеното ОЧС	Подаване	Цикъл за обратно разстъргване
G88	Подаване	Изчакване и стоп на вретеното	Бърз ход	Цикъл за разстъргване
G89	Подаване	Изчакване	Подаване	Цикъл за разстъргване

ЛИТЕРАТУРА

1. Хаджийски, П. Технология на машиностроенето част 2. Програмиране и настройване на металоурежещи машини с ЦПУ, ТУ София, 2005 г.
2. Угринов, П. Програмиране и настройване на металоурежещи машини с ЦПУ, ТУ София, 2008 г.
3. Тошев, И., М. Топалова, Б. Борисов. Металоурежещи машини, ТУ София, 2004 г.
4. Мишев, Г. А. Металоурежещи машини, ч. 2, Пловдив, 2000 г.
5. Попов, Г. Т. Металоурежещи машини, ч. 1 и 2, ТУ София, 2002 г.
6. Рачев, М. Ц. Металоурежещи машини, ТУ Варна 1988 г.
7. Тодоров, Н. Т. и др. Програмиране на металоурежещи машини с ЦПУ, София, „Техника” 1980 г.
8. Караколов, Л.Р. Металоурежещи машини и автоматизирани системи с програмно управление, София, „Техника” 1990 г.
9. Кузманов, Т. Хр.Метев,Технология на машиностроенето, ч. 4, Технологически процеси за машини с ЦПУ,ЕКС-ПРЕС,Габрово, 2007.
- 10.Иванов, Г.И.,А.П.Найденев,Програмно управление на металоурежещи машини, Габрово, 1996.
- 11.Кузнецов, Ю.Н.,Д.А.Димитриев,Г.Е.Диневич, Компоновки станков с механизмами паралелной структуры, Киев-Херсон,2010.
- 12.Хаджикосев, Г. Ръководство за лабораторни упражнения по автоматизация и гъвкаво автоматизирано производство, ТУ София, 1994 г.
- 13.Ненов, Г., Т. Сечи. Цифрово управление на технологично оборудване, ВТУ Русе,1994.
- 14.Чешмеджиев,В.И. Макропрограмиране на системи Фанук 6, София, ЦНИИММ, Център за програмно осигуряване на ММ с ЦПУ, 1988.
- 15.Sinumerik 840D: Training, Operation and Service, 2010.
- 16.Sinutrain 810D/840D/840Di: Option Virtual Machine for Training, V1.0
- 17.The SINUMERIK System 09/2009, Erlangen.
- 18.Sinutrain 802D/810D/840Di: Programing&Training, SinuTrain/JobShop, Version 6.3, Edition 4.
- 19.SIEMENS, Katalog NC60 , 2004.

- 20.Siemens, Sinumerik 828D, 2010.
- 21.Mazak, Operating manual, 2008.
- 22.Programming manual for MAZATROL MATRIX NEXUS., 2006.
- 23.НААС, Ръководство за опериране и програмиране, 2008.
- 24.Heidenhain iTNC 530: The Versatile Contouring Control for Milling, Drilling, Boring Machines and MC, 2006.
- 25.Heidenhain MANUAL plus 4110: The Versatile Contouring Control for Lathes, 2006.
- 26.Heidenhain,Motors for Axis and Spindle Drives, 2008.
- 27.Heidenhain , General Catalog, 2006.
- 28.FANUC Series Oi-TC, Operator's manual, 2006.
- 29.FANUC Series 300is/ 310is/ 320is – model A, 2008.
- 30.ETA17 CNC 10T, Ръководство за опериране и програмиране, 2004.

СЪДЪРЖАНИЕ

ГЛАВА 1 ОСНОВИ НА CNC ПРОГРАМИРАНЕТО.....	2
1.1 Общи характеристики на металорежещите машини с ЦПУ.....	2
1.1.1. Видове системи за програмно управление.....	3
1.1.2. Структура на металорежещите машини с ЦПУ.....	5
1.1.3. Структура на системата за програмно управление.	7
1.2. Основни етапи и основни принципи при създаване и изпълнение на NC програмата.....	9
1.2.1. Изходни данни за съставяне на програмата.....	9
1.2.2. Съставяне на програмата в буквено-цифров, или друг символен код...10	
1.3. Елементи и структура на програмата.....	13
1.3.1. Програма.....	13
1.3.2. Програмен блок.....	14
1.3.3. Програмна дума.....	15
1.3.4. Структура на програмата.....	25
1.4. Позициониращи и подавателни премествания.....	26
1.4.1. Избор на равнина.....	26
1.4.2. Координатни системи.....	26
1.4.3. Абсолютно и относително програмиране.....	29
1.5. Програмиране на движения.....	30
1.5.1. Интерполация.....	30
1.5.2. Позициониращи премествания на бърз ход G00.....	32
1.5.3. Работни премествания.....	35
1.6. Движение на вретеното.....	37
1.6.1. Честота на въртене (скорост) на вретеното и посока на въртене.....	37
1.6.2. Ограничения на скоростта на вретеното.....	38
1.7. Инструменти и компенсации.....	38
1.7.1. Избор на инструмент.....	38
1.7.2. Геометрични корекции.....	38
ГЛАВА 2 ПРОГРАМИРАНЕ НА СТРУГОВИ МАШИНИ С ЦПУ.....	43
2.1. Координатни системи.....	44

2.1.1. Общо описание.....	46
2.1.2. Машинна координатна система (МКС).....	45
2.1.3. Координатна система на детайла (КСД).....	46
2.2. Характерни точки.....	47
2.2.1. Опорни точки (ОТ).....	47
2.2.2. Изходна точка (ИТ).....	48
2.2.3. Фиксирани цикли.....	49
2.2.3.1. Фиксиран цикъл за външно/вътрешно струговане G90.....	49
2.2.3.2. Фиксиран цикъл за челно струговане G94.....	51
2.2.3.3. Фиксиран цикъл за струговане на резба G92.....	51
2.2.4. Многопроходни цикли.....	52
2.2.4.1. Многопроходен цикъл за грубо цилиндрично струговане G71.....	53
2.2.4.2. Многопроходен цикъл за грубо челно струговане G72.....	55
2.2.4.3. Многопроходен цикъл за струговане по контур G73.....	56
2.2.4.4. Цикъл за чисто струговане G70.....	57
2.2.4.5. Цикъл за цилиндрично струговане G74.....	58
2.2.4.6. Цикъл за цилиндрично струговане G75.....	59
2.2.4.7. Цикъл за многопроходно нарязване на резба G76.....	60
2.5. Специализирани функции за струговане.....	61
2.5.1. Постоянна скорост на рязане G96 и G97.....	62
2.5.2. Закръгления, фаски.....	63

ГЛАВА 3 ПРОГРАМИРАНЕ НА ФРЕЗО-ПРОБИВНИ МАШИНИ И ОБРАБОТВАЩИ ЦЕНТРИ.....	66
3.1. Структура и технологични възможности.....	67
3.2. Координатни системи.....	70
3.2.1. Машинна координатна система (МКС).....	70
3.2.2. Координатна система на детайла (КСД).....	71
3.2.3. Закрепване на заготовката.....	71
3.2.4. Избор на равнина.....	72
3.2.5. Технологични особености при програмирането на фрезови, пробивно- разстъргващи машини и обработващи центри.....	73

3.3. Програмиране с фиксирани цикли.....	75
3.3.1. Фиксиран цикъл за центроване и пробиване G81	76
3.3.2. Фиксиран цикъл със задържане на подаването на дъното на отвора G82.....	79
3.3.3. Цикли за пробиване на дълбоки отвори G73 и G83.....	81
3.3.4. Цикли за нарязване на лява G74 и дясна G84 резба с метчик.....	83
3.3.5. Цикли за разстъргване на точни отвори G85, G86, G88, G89 и G76, G87.....	86
Литература.....	95

Автори: доц. д-р инж. Йосиф Митев Митев
гл. ас. д-р инж. Христо Христов Якимов
гл. ас. д-р инж. Христиан Йосифов Митев

Програмиране на металорежещи машини с цифрово програмно управление
Учебник за програмиране на стругови, фрезови и фрезно-пробивни
машини с цифрово програмно управление

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

*Националност българска
Първо издание*

© Университетско издателство “Васил Априлов” – Габрово

ISBN: