

a 11666

**АНГЕЛ
ДИКОВ**

ТЕХНОЛОГИЯ
НА
МАШИНОСТРОЕНЕТО

ОБЩ КУРС



12.07.2010

06-12-2010

10-08-2011

09-01-2012

проф. Ангел Диков

ТЕХНОЛОГИЯ НА МАШИНОСТРОЕНЕТО

Общ курс



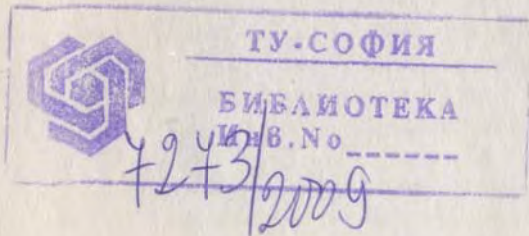
11666

В учебника са разгледани теми по рязане на материали, инструментални материали, режещи инструменти, металорежещи машини, основи на технологията на машиностроенето, проектиране на технологични процеси за изработване на детайлите и сглобяване на изделията.

Учебникът е предназначен за студентите от специалност *Транспортна техника и технологии*. Може да се използва от студенти от всички специалности на професионално направление *Машиноинженерство*, изучаващи дисциплината *Технология на машиностроенето* (общ курс) в съответствие с държавните изисквания за това направление.

Учебникът е утвърден от катедра "Технология на машиностроенето и металорежещи машини" на Технически университет - София (Протокол № 8/14.04.2000 г.).

Рецензент доц. д-р Стефан К. Даскалов



© Ангел Диков
© "СОФТТРЕЙД"
с/о Jusautor, Sofia 2006
ISBN-10: 954-334-034-X
ISBN-13: 978-954-334-034-7

Глава 1

ПРОИЗВОДСТВО И ТЕХНОЛОГИЧЕН ПРОЦЕС

1.1. Машините като обект на производство

Съвкупността от взаимно свързани действия, в резултат на които изходните материали и полуфабрикати се превръщат в готови изделия, съответстващи на служебното си предназначение, се нарича *производствен процес*. Крайният продукт на производството в машиностроенето се нарича *изделие*. Изделието се състои от възли и и детайли.

Детайлът е елемент на изделието, характеризиращ се с това, че в него няма никакви съединения.

Възелът е елемент на изделието, представляващ съединение на два или повече детайли, независимо от характера на съединението. Характерен белег на възела е това, че той може да се сглоби отделно от другите елементи на изделието.

За различните заводи и цехове изделието може да бъде машина, уред, възел или отделен детайл.

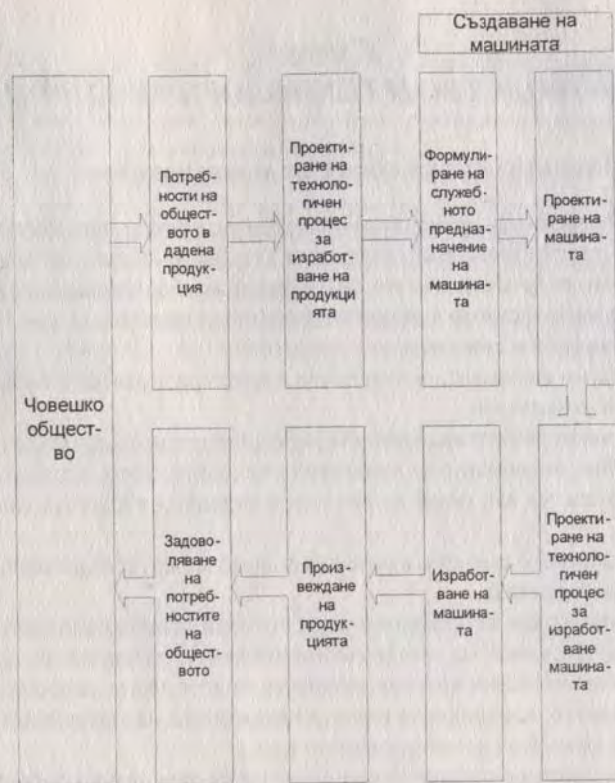
Производственият процес включва в себе си не само основните процеси, свързани с изработването на детайлите и сглобяването на изделията, но и всички необходими спомагателни процеси, например, подготовката на производството, транспортирането, контролирането и съхраняването на материалите и полуфабрикатите, ремонтът на оборудването и т.н.

Всяко изделие се създава за задоволяване на определени потребности на човешкото общество. Тясната връзка между тези потребности и конструкцията на изделието намира израз във формулирането на служебното предназначение на изделието [3].

Под служебно предназначение на изделието се разбира ясно формулираната и максимално уточнена задача, за решаването на която то е предназначено. За да може изделието да изпълнява служебното си предназначение, то трябва да бъде изяснено и формулирано преди да се пристъпи към създаването на това изделие (фиг. 1.1) [18].

При формулиране на служебното предназначение се разкриват и определят изискванията към качеството на готовото изделие, като се изхожда от параметрите на технологичния процес, за осъществяването на който това изделие се създава. Грешките, допуснати при формулиране на служебното предназначение, често водят до непълноценност или негодност на конструкцията. Тези грешки трудно могат да се отстранят на следващите етапи.

Служебното предназначение трябва да изразява не само общата задача, за решаването на която е предназначено изделието, но и всички допълнителни условия и изисквания, които максимално уточняват тази задача. Например, при конструиране на универсален струг трябва да се уточнят размерите на струга,

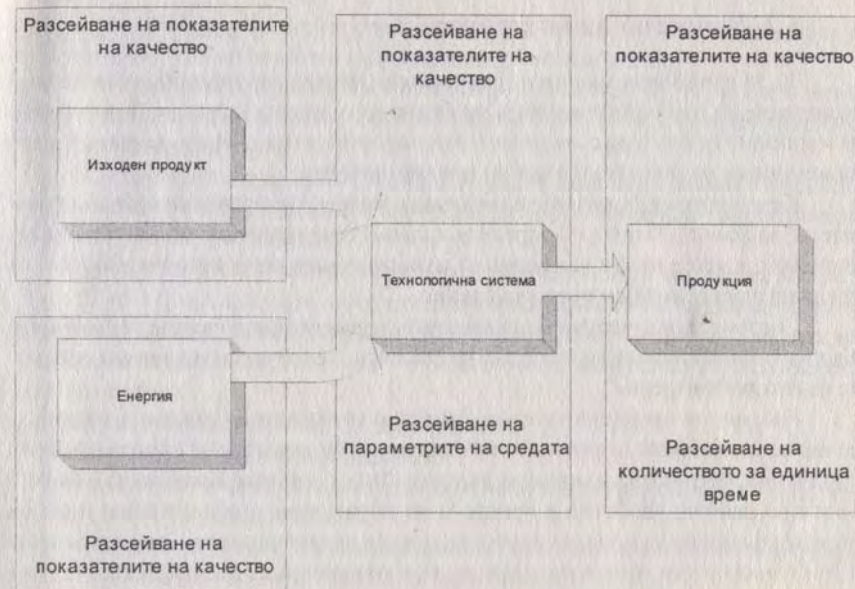


Фиг. 1.1. Етапи на създаване на изделията

мощността на главното задвижване, обхватът на честотите на въртене на вретеното, обхватът на подаванията, класът на точност и т.н. Освен това трябва да се уточнят условията на работа (влажност и запрашеност на въздуха, колебание на температурата, наличието на агресивни газове, наличие на трептения), изискванията за ергономичност и др.

За да се опише служебното предназначение на изделието, трябва да се изучи и опише технологичния процес, за изпълнението на който то е предназначено (фиг. 1.2). При това, както се вижда от фигурата, трябва да се изяснят: видът и качеството на изходния продукт; факторите, изменящи средата, в която се изпълнява технологичния процес; изменението на състоянието на изделието в процеса на експлоатация.

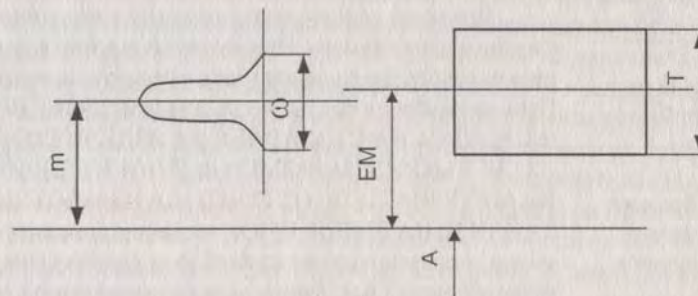
За да изпълнява машината служебното си предназначение, т.е. да произвежда продукция с необходимото качество и количество, трябва да бъдат установени границите на изменение на случайните величини, имащи отношение към състоянието на изпълнявания процес. Това означава, че за всеки параметър



Фиг. 1.2. Условия на изпълнение на технологичния процес

трябва да бъдат установени (фиг. 1.3):

- номинална стойност A ;
- средно отклонение EM , с което при осъществяването на процеса трябва да се съвмести математичното очакване m на случайната величина;
- допуск T , ограничаващ дисперсията D на случайната величина, изразена чрез полето на разсейване ω .



Фиг. 1.3. Относително разположение на допуска и полето на разсейване

1.2. Качество на машините

За да изпълнява машината икономически изгодно служебното си предназначение, тя трябва да притежава необходимото за целта качество. Под качество на машината се разбира съвкупността от свойства, определящи съответствието на машината на нейното служебно предназначение.

Качеството се характеризира с редица методично правилно избрани показатели, за всеки от които се определя количествена стойност и допустими отклонения, като се изхожда именно от икономически изгодното изпълнение от уреда на служебното си предназначение.

Системата от качествени показатели с определени количествени стойности и допустими отклонения е получила названието "технически условия за приемане на готовото изделие".

Към основните показатели на качество се отнасят: стабилност на изпълнение на служебното предназначение във времето; качество на произвежданата продукция; физическа и морална дълготрайност; производителност; безопасност при работа; удобство и простота на управление и обслужване; ниво на шум; коефициент на полезно действие; степен на механизация и автоматизация и др. Отнесени към конкретно изделие, тези показатели се диференцират и уточняват.

Понятието *качество* често се смесва с понятието *техническо ниво*. Трябва да подчертаем, че това са различни понятия. Качеството е свързано със служебното предназначение, а техническото ниво се определя чрез сравняване на конструкцията с най-добрите известни подобни конструкции.

Всяко изделие изпълнява служебното си предназначение с помощта на изпълнителните си повърхнини. Например, изпълнителните повърхнини на универсалния струг са повърхнините на предния край на вретеното и на ножодържача. През време на работата на изделието между изпълнителните му повърхнини възникват различни видове връзки: размерни, кинематични, електрически, магнитни, светлинни, химически и др.

Връзките между изпълнителните повърхнини са сложни и многообразни. Някои от тях възникват само в процеса на работа, други действуват и в неработещото изделие. Най-важен обаче е фактът, че **ВСИЧКИ ВИДОВЕ ВРЪЗКИ В ПРОЦЕСА НА СЪЗДАВАНЕ НА ИЗДЕЛИЕТО СЕ ЗАЛАГАТ ВЪВ ВИД НА РАЗМЕРНИ ВРЪЗКИ И СВОЙСТВА НА МАТЕРИАЛИТЕ, ОТ КОИТО СА ИЗРАБОТЕНИ ДЕТАЙЛИТЕ НА ИЗДЕЛИЕТО.** Например, основните параметри, произтичащи от служебното предназначение на малогабаритния постоянно ток електродвигател, използван в системите за управление (фиг.1.4), са честотата на въртене n_n и въртящият момент M_n на изходящия вал [18]. Големината на тези



Фиг. 1.4. Връзки в постоянно токов електродвигател

параметри се осигурява от кинематичните, електромагнитните и размерните връзки между статора и котвата и материалите на тези детайли.

Ето защо осигуряването на качеството на изделията е свързано преди всичко с осигуряването на качеството на размерните връзки, т.е. с осигуряването на точността на изделията.

Под точност на изделието (детайла) се разбира степента на приближението му към геометрически правилния прототип. Ще разгледаме най-напред показателите на точност на детайлите.

Да се изработи детайлът абсолютно точно, т.е. в пълно съответствие с геометричната представа за него, е невъзможно. Затова като мярка за точност се приема големината на отклонението от теоретичната стойност. Това отклонение се измерва и се съпоставя с отклонението, допускано от служебното предназначение.

Показателите на точност на детайлите са:

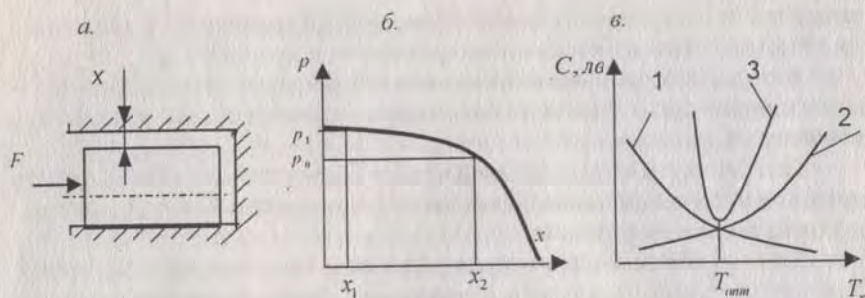
- точност на линейните размери;
- точност на ъгловите размери (включително отклоненията от успоредност и перпендикулярност);
- точност на геометричната форма на повърхнините - макрогеометрия, вълнистост и микрогеометрия (грапавост).

С подобни показатели се характеризира и точността на изделията. Тъй като за да изпълнява изделието служебното си предназначение най-често изпълнителните му повърхнини извършват относително движение, то един от основните показатели на точността на изделието е точността на относителното движение на изпълнителните повърхнини. Под точност на относителното движение се разбира степента на приближение на действителното движение към теоретичния закон на движение. Изхождайки от казаното, ще характеризираме точността на изделията със следните показатели:

- точност на относителното движение на изпълнителните повърхнини;
- точност на линейните размери между изпълнителните повърхнини;
- точност на ъгловите размери между изпълнителните повърхнини;
- точност на геометричната форма на изпълнителните повърхнини.

Допуските на показателите на качество, определени от служебното предназначение, се разделят на две части: за изработване на изделието и за износването му в процеса на експлоатация. Ще разгледаме съединение от типа бутало - цилиндър. За да изпълнява възелът служебното си предназначение, при въздействие върху буталото със сила F (фиг.1.5а) в цилиндъра трябва да се създава налягане p , не по-малко от допустимото p_0 . Големината на създаваното налягане зависи от хлабината x между буталото и цилиндъра (фиг.1.5б).

При хлабина $x < x_1$ загубите от триене между буталото и цилиндъра ще бъдат много големи, при хлабина $x > x_2$ налягането p ще бъде по-малко от допустимото p_0 . Следователно, максималния допуск $T_{x_{max}}$ за хлабината x е $T_{x_{max}} = x_2 - x_1$. От друга страна, зависимостта между допуската T_x на хлабината x и разходите C за производство и експлоатация на възела се изразяват с кривите



Фиг. 1.5. Разпределяне на допуските за производство и експлоатация

1 и 2, съответно (фиг. 1.5б). Оптимални ще бъдат разходите при $T_x = T_{opt}$ (крива 3). Следователно, допуските на буталото и цилиндъра трябва да се назначат така, че да се осигури минимална хлабина $x_{min} = x_1$ и максимална хлабина $x_{max} = x_1 + T_{opt}$. За износване на съединението в процеса на експлоатация ще остане величината $T_{util} = T_{x_{max}} - T_0$.

В частност, за да работи нормално двигателя 24Д на автомобил ГАЗ 24 (т.е. да осигурява мощност 70,5 kW), налягането в цилиндрите трябва да бъде не по-малко от 0,85 Мра (8,5 kg/cm²). Такова налягане се осигурява при хлабина x между буталото и цилиндъра в границите 0,024...0,3 mm, т.е. допускът на хлабината е 0,276 mm. Заводът произвежда двигателите с допуск на хлабината 0,024 mm (0,024...0,048 mm), останалата част от допуса (0,276 - 0,024 = 0,252 mm) остава за износване в процеса на експлоатация на двигателя.

Допускът за изработване на изделието се нарича допуск за приемане на готовото изделие в работа. Този допуск от своя страна се разделя на няколко части за компенсиране на: методичните грешки; грешките от различни видове деформации; грешките от сглобяване и настройване на изделието и от изработване на детайлите му. Последната част от допуса се нарича допуск за приемане на готовото изделие без работно натоварване. Тя от своя страна се дели на две части: за сглобяване и настройване на изделието и за изработване на детайлите му.

Разпределянето на допуса за приемане на готовото изделие на отделни части се извършва на основата на технико-икономически изчисления така, че да се осигури най-голяма ефективност на производството.

1.3. Технологична система. Формообразуване

Съвкупността от множество свързани помежду си краен брой елементи се нарича система. Системи, отнасящи се до обекти на техниката, се наричат технически. Ако една техническа система изпълнява функции по преработка на маса, енергия или информация, тя се нарича технологична.

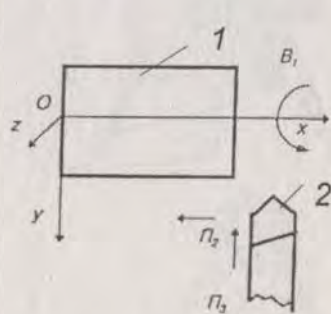
Същността на изработването на детайлите се състои в получаване върху изходното твърдо тяло (заготовката) повърхнини със зададени геометрични форми, размери, относително разположение и физико-механични свойства. За тази цел в машиностроенето се използват различни технологични системи: металорежещи машини, ковашко-пресови машини, установки за напласяване, машини за електрофизично обработване и др. В основата на конструкцията на всяка технологична система са положени определени начини (схеми) за формообразуващо обработване.

Под начин за формообразуващо обработване ще разбираме целенасочена съвкупност от приеми за въздействие върху твърдото тяло посредством обекта, изпълняващ функцията на инструмент, изпълнявани в зададена последователност.

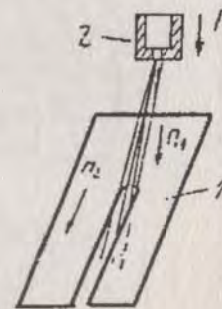
Например, за да получим цилиндричната повърхнина 1 на детайла (фиг. 1.6) е необходимо:

- да ориентираме обработвания детайл по подходящ начин в координатната система на технологичната система, в случая - в координатната система Охуз на универсалния струг;
- да преместим инструмента 2 така, че той да заеме определено положение относно обработвания детайл (движение P_1);
- да осигурим въртеливо движение на обработвания детайл (движение B_1) и свързано с него постъпателно движение на инструмента (движение P_2).

На фиг. 1.7 е показана схема на рязане с течност под налягане. За да разрежем заготовката 1 трябва да я ориентираме в координатната система на установката за рязане, след това в посоката на рязане P_1 през дюзата 2 да подаваме течност под налягане, а заготовката да премества в посока на подаването с движение P_2 . При налягане на течността над 100 Мра и диаметър на дюзата 0,1...0,3 mm скоростта на изтичане на течността е около 1500 m/s, което е достатъчно за разрязване на заготовката.



Фиг. 1.6. Надлъжно цилиндрично стругане



Фиг. 1.7. Разрязване с водна струя

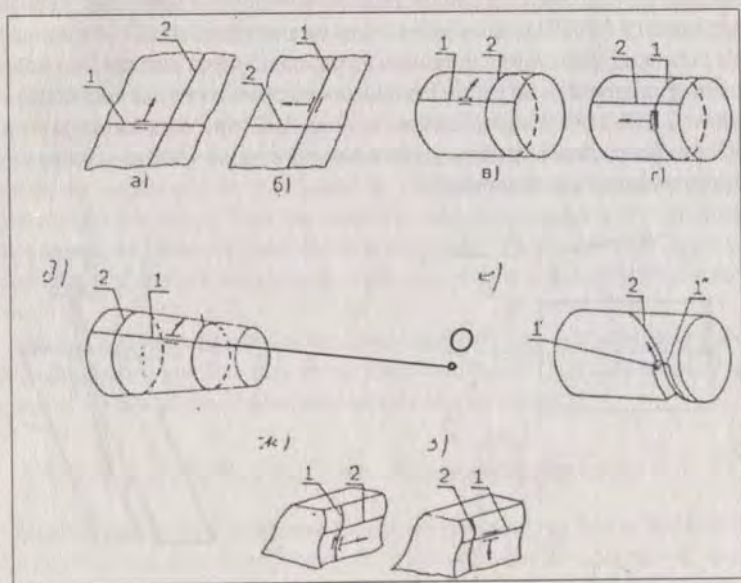
От приведените примери се вижда, че за да се извърши формообразуване, технологичната система трябва да включва три подсистеми:

- подсистема за ориентиране на инструмента и обработвания детайл в координатната система на машината;
- кинематична подсистема, осигуряваща необходимите относително положение и относителни движения на инструмента и обработвания детайл;
- енергетична подсистема, осигуряваща въвеждането на необходимата енергия в зоната на обработване.

Тези три системи ще разгледаме в глава 4. Тук ще се спрем по-подробно на начините за формообразуване, които се реализират от кинематичната система.

Детайлите се състоят от множество различни повърхнини - равнинни, цилиндрични, конусни, сферични и с по-сложна пространствена форма. В повечето случаи те могат да се опишат чрез движение на една линия, наречена *образуваща*, по друга линия, наречена *направляваща*. Двете линии, образуващата и направляващата, се наричат *производящи*.

Например равнинна повърхнина се получава при движение на правата 1 по правата 2 (фиг. 1.8а, б). Цилиндрична повърхнина се получава при движение на правата 1 по окръжността 2 (фиг. 1.8в) или при движение на окръжността 2 по правата 1 (фиг. 1.8г).



Фиг. 1.8. Геометрично описание на повърхнините чрез производящи линии

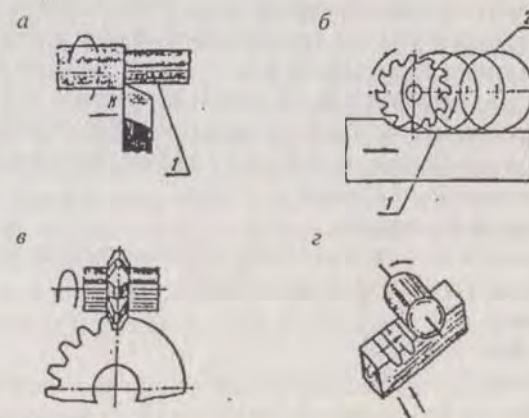
Конусна повърхнина се получава при движение на правата 1, преминаваща през точката О, по окръжността 2 (фиг. 1.8д), а винтова повърхнина - при движение на линията 1 по винтовата линия 2 (фиг. 1.8е). Еволвентна повърхнина се получава при движение на еволвентата 1 по правата 2 (фиг. 1.8ж) или при движение на правата 2 по еволвентата 1 (фиг. 1.8з). По същия начин може да се получи всякаква друга профилна повърхнина. Както се вижда от приведените примери, в една част от схемите образуващата и направляващата линии могат да си сменят местата, т.е. тези схеми са обратими (фиг. 1.8а и фиг. 1.8б, фиг. 1.8в и фиг. 1.8г, фиг. 1.8ж и фиг. 1.8з).

Ще отбележим, че скоростта на възпроизвеждане на образуващата е по-голяма от скоростта на възпроизвеждане на направляващата.

Инструментът формообразува чрез: точка (острозаточен стругарски нож); линия (профилен нож); множество от линии (фреза); повърхнина (обемна шампа). При това производящите линии могат да се получат:

- по метода на следата - като следа от движението на върха на инструмента, разглеждан като материална точка (фиг. 1.9а);
- по метода на допирането - като допирателни към последователността от геометрични точки, получени при движението на режещите ръбове на инструмента (фиг. 1.9б);
- по метода на копирането - като следа на режещия ръб на инструмента, реализиран като материална линия (фиг. 1.9в). По този начин може да се получи само образуваща, но не и направляваща линия;
- по метода на обхождането - като обвиваща линия на последователните положения на режещите ръбове на инструмента (фиг. 1.9д).

Кинематичната подсистема на технологичната система трябва да реализира формообразуващите движения. Освен това тя трябва да осигурява движенията на работните органи, чрез които се получават размерите на обработваните повърхнини.



Фиг. 1.9. Начини за получаване на производящите линии

1.4. Структура на технологичния процес

Частта от производения процес, непосредствено свързана с изменението на качествено състояние на обекта на производство и последващото определяне на това качествено състояние, се нарича **технологичен процес**.

Качественото състояние се изменя по отношение на физико-механичните свойства на материала, формата и размерите на повърхнините, външния вид и др. Например, всички видове механично обработване се прилагат преди всичко за изменение на формата и размерите на обработвания детайл. Термообработването е свързано с изменението на физичните свойства на материала на обработвания детайл. При сглобяването се изменя взаимното разположение на детайлите. При боядисването се изменя външния вид на детайлите или сглобените изделия.

Поради технически и организационни причини технологичният процес се дели на няколко части. Например, практически е невъзможно да се обработи една заготовка от шестте страни при едно установяване. Технически и икономически е нецелесъобразно да се стругова, закалява и шлифова на една машина и т.н.

Технологичният процес се дели на операции, установки, позиции, преходи и ходове (проходи).

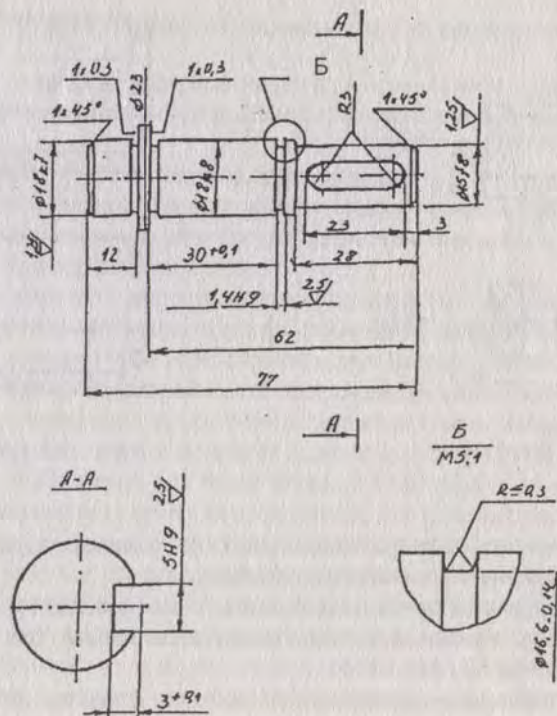
Завършена част от технологичния процес, изпълнявана на едно работно място от един работник (или група работници) върху един детайл или група детайли, се нарича операция. Операцията е основен елемент на технологичния процес, чрез нея се извършва планиране и отчитане на производството.

На фиг. 1.10 е показан чертеж на вал. За изработването му от прътов материал е необходимо: да се отреже заготовката, например, на механична ножовка; да се струговат всички повърхнини на вала; да се фрезова шпонковия канал; да се извърши термообработване и, накрая, шлифване. Освен това, за да се убедим, че сме постигнали необходимите показатели на качество, трябва да ги измерим.

Вариантите на структура на технологичния процес дори за сравнително прости по конструкция детайли са много, по-точно броят им се стреми към бескрайност. За разглеждания пример можем да приемем, че в условията на единично производство технически и икономически е целесъобразно технологичният процес за изработване на вала да се изпълнява на седем работни места, т.е. да се раздели на седем операции:

1. Отрязване на заготовката.
2. Струговане (струговане на челата и пробиване на центрови отвори).
3. Струговане (грубо и чисто по контура).
4. Фрезоване.
5. Термообработване.
6. Шлифване.
7. Контрол.

Разбира се, това не е единственият вариант на технологичния процес.



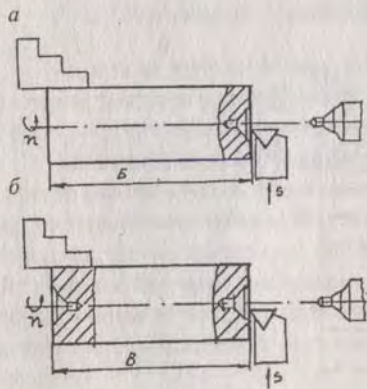
Фиг. 1.10. Детайл вал

Например, отрязването на заготовката може да се извърши на струг, при което ще се съвместят първите две операции в една. Грубото и чистото струговане може да се раздели на две различни операции и т.н.

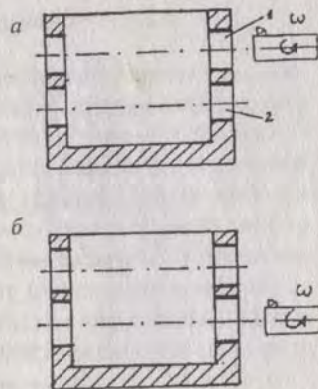
За да се обработи детайлът трябва преди всичко да се ориентира и закрепва в приспособлението. Този процес се нарича установяване. Не винаги обаче цялата операция може да се изпълни при едно и също установяване. Например, за вала от фиг. 1.10 втората операция трябва да се извърши при две различни установявания на вала в патронника на струга: установява се заготовката, стругова се челото и се пробива центровия отвор (фиг. 1.11а); освобождава се обработвания детайл, обръща се и се установява отново; стругова се второто чело и се пробива втория центрови отвор (фиг. 1.11б).

Частта от операцията, изпълнявана при едно установяване на обработвания детайл и при едно и също настройване на машината, се нарича установка.

Относителното положение на обработвания детайл и инструмента (инструментите) може да се изменя с цел обработване на няколко различни повърхнини за една установка. Всяко ново фиксирано положение на обработвания



Фиг. 1.11. Установка



Фиг. 1.12. Позиция

детайл относно инструмента при едно и също установяване се нарича позиция. Както се вижда, позицията е част от установката.

Например, при разстъргване на отворите 1 и 2 (фиг. 1.12) е необходимо оста на въртене на вретеното да се съвмести с оста на отвора 1 (фиг. 1.12а), след това - с оста на отвора 2 (фиг. 1.12б).

Основен технологичен елемент, от който се формира операцията, е преходът.

Технологичният преход е завършена част от операцията, характеризираща се с постоянно използваните инструменти, режими и обработвани повърхнини. Изменението само на един от тези елементи определя нов технологичен преход.

Спомагателният преход е завършена част от операцията, състояща се от действия на оператора или оборудването, не свързани с изменението на качествено състояние на обекта на производство, но необходими за изпълнението на технологичния процес. Например, установяване на заготовката, смяна на инструмента и др.

Работният ход е част от прехода, свързана със свалянето на слой материал при еднократно движение на инструмента (или групата инструменти).

Спомагателният ход е част от прехода, състояща се от еднократно преместване на инструмента относно обработвания детайл, не свързано с изменението на качествено състояние, но необходимо за изпълнението на работния ход.

Понятията операция, установка, позиция, преход и ход се отнасят и за технологичните процеси за измерване и сглобяване.

1.5. Технологична подготовка на производството

За да се започне производството на дадено изделие е необходимо да се извърши техническа подготовка. Техническата подготовка на производството включва:

1. Конструкторска подготовка на производството - разработване на конструкцията на изделието и изработване на общите чертежи, чертежите на отделните сглобяеми единици и детайли, оформянето на спецификациите и другите видове конструкторски документи.

2. Технологична подготовка на производството - осигуряването на технологичността на конструкцията, разработването на технологичните процеси за сглобяване на изделието и изработване на детайлите му, проектиране на технологичната екипировка, изработване на технологичната екипировка.

3. Организационна подготовка на производството - планиране на производствения процес за изработване на изделието в установения обем и срокове.

Даже най-добрият от гледна точка на осигуряване на показателите на качество на изделието технологичен процес е съвсем неприемлив за дадено предприятие, ако при неговото използване не може да се изпълни производствената програма или ако себестойността на изделието е прекалено голяма. Най-ниска себестойност при изработване на изделията се постига при разработване на технологичен процес в съответствие с типа на производството в предприятието.

В зависимост от номенклатурата и обема на произвежданите изделия съвременното производство се разделя на единично, серийно и масово.

Типът на производството се характеризира с коефициента на закрепване на операциите K_{30}

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

където O е броят на операциите; P - броят на работните места, на които се изпълняват различните операции за плановия период (обикновено за един месец).

При $K_{30} = 1$ производството е масово; при $1 \leq K_{30} \leq 10$ - едросерийно; при $10 \leq K_{30} \leq 20$ - серийно; при $20 \leq K_{30} \leq 40$ - дребносерийно. Когато K_{30} е по-голям от 40, производството е единично.

В масовото производство детайлите и изделията се изработват непрекъснато и в относително големи количества. Характерен признак на масовото производство обаче не е количеството на изделията, а изпълняването на едно работно място само на една, постоянно закрепена за него, операция.

Характерен признак на серийното производство е изпълнението на едно работно място на няколко периодично повтарящи се операции. Серийното производство се характеризира с относително малка номенклатура на произвежданите изделия, частично използване на специални и специализирани машини, а също така и на машини с програмно управление.

В единичното производство се произвежда широка номенклатура изделия. Количеството им е относително малко, изработването им не се повтаря или се повтаря през неопределен интервал. Характерен признак на единичното производство е изпълнението на едно работно място на различни операции без периодично повтаряне.

В масовото и едросерийното производство се създават условия за тясна специализация на работните места, за всяко от които е закрепена само една операция. Оборудването се разполага по хода на технологичния процес във вид на поточна линия. На всяка линия се обработва само един детайл или се сглобява само един възел (изделие).

Поточното производство се характеризира с такта T на производството

$$T = \frac{F}{N}, \quad (1.2)$$

където F е действителният фонд работно време за годината, часа; N - броят на изделията, подлежащи на изработване за една година.

В машиностроенето непрекъснато нараства относителният дял на дребно-серийното и единичното производства. Във връзка с това се развиват гъвкавите автоматизирани производствени системи (ГАПС), съставени от машини с цифрово програмно управление. Тези системи са предназначени за автоматизиране на единичното и дребносерийното производство.

1.6. Технологичност на конструкцията

Един от факторите, съществено влияещи на характера и себестойността на технологичните процеси, е технологичността на конструкцията на изделието и на неговите детайли.

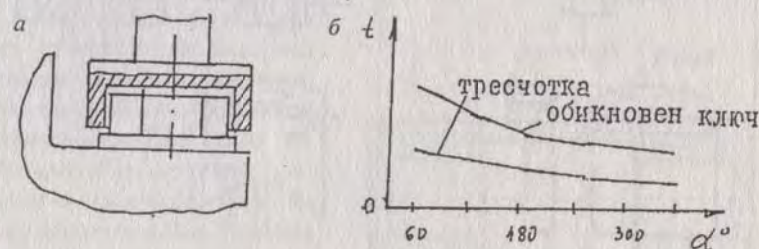
При конструирането трябва да се изхожда не само от експлоатационните изисквания, но и от изискванията за най-рационално и икономично изработване на изделието. В това се състои принципът на технологичност на конструкцията.

Технологична е тази конструкция, която осигурява при дадените производствени условия експлоатационните показатели на изделието и изисква за осъществяването си най-малко труд, време и средства.

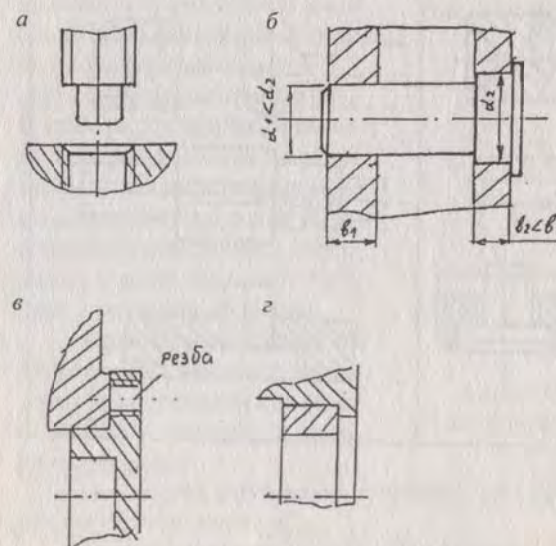
Технологичната конструкция на изделията трябва да предвижда:

- максимално широко използване на стандартизирани и нормализирани детайли и елементи на детайлите и на унифицирани сглобяеми единици;
- възможно най-малко количество детайли с оригинална сложна конструкция;
- създаване на детайли с рационална форма, с леснодостъпни за обработване повърхнини и достатъчна стабилност с цел намаляване на трудоемкостта и себестойността на обработването;
- наличие на удобни повърхнини за технологични бази или възможност за създаване на изкуствени технологични бази;

- рационален метод за получаване на заготовката с размери и форма възможно най-близки до готовия детайл;
- възможност за използване на успоредно във времето и пространството сглобяване на отделните сглобяеми единици и на изделието като цяло;
- унификация на крепежните детайли с цел намаляване на номенклатурата на инструментите за сглобяване и по-ефективно използване на средствата за механизация на сглобяването;
- свободен достъп на високопроизводителни инструменти до местата за завиване на винтове и гайки - челни ключове, тресчотки (фиг. 1.13а), тъй като времето t за завиване на гайката зависи от възможния ъгъл α° на завъртане на ключа (фиг. 1.13б);



Фиг. 1.13. Технологичност на резбови съединения



Фиг. 1.14. Технологичност на типови съединения

- при завиване на винтове в труднодостъпни места конструктивно осигуряване на воденето на винта (фиг. 1.14а);
- при сглобяване по две цилиндрични повърхнини конструктивно осигуряване на последователно сглобяване (фиг. 1.14б);
- осигуряване на възможност за разглобяване (фиг. 1.14в,г);
- възможност за сглобяване без специални стендове и приспособления.

Технологичността на конструкцията на заготовките трябва да включва не само максимална рационализация на механичното обработване, но и улесняване на процеса на изработване на заготовката.

В таблица 1.1 са показани примери на технологични и нетехнологични конструкции на детайли.

Таблица 1.1.

N	Неправилно	Правилно
1		
2		
3		
4		
5		

Глава 2 ОСНОВИ НА ПРОЦЕСА НА РЯЗАНЕ

2.1. Основни понятия и определения

В зависимост от начина на получаване на необходимата форма на детайлите методите за обработване се разделят на две групи. Към първата група се отнасят методите за обработване без отнемане на материал от заготовката - леене, обработване чрез пластично деформиране, пресоване от метални прахове. Към втората група се отнасят методите за обработване чрез отнемане на излишния материал от заготовката. Този материал се оставя специално за тази цел и се нарича *прибавка за обработване* (фиг. 2.1).

Методите за обработване чрез отнемане на материал включват обработване чрез рязане, електрофизичното и електрохимичното обработване. Обработването на детайлите чрез рязане се извършва върху *металорежещи машини*. При това за да се получи повърхнина с определена геометрична форма и размери, от изходната заготовка последователно се отделят части (слоеве) от материала. За тази цел върху заготовката 1 (фиг.2.2) се въздейства със сила F , която се прилага чрез елемента 3, наричан *режещ инструмент*. Отделяният в процеса на относителното движение на заготовката и инструмента деформиран и разрушен слой материал 2 се нарича *стружка*.

Физическият процес на отделяне на слой материал от заготовката, който се извършва от режещия инструмент, се нарича **рязане**.

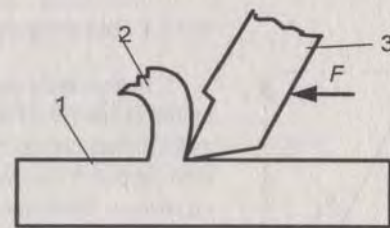
По-нататък заготовката, намираща се в процес на обработване, ще наричаме обработван детайл.

За да се извърши рязането, е необходимо:

- режещият инструмент и обработваният детайл да заемат определено



Фиг.2.1. Заготовка за обработване чрез рязане

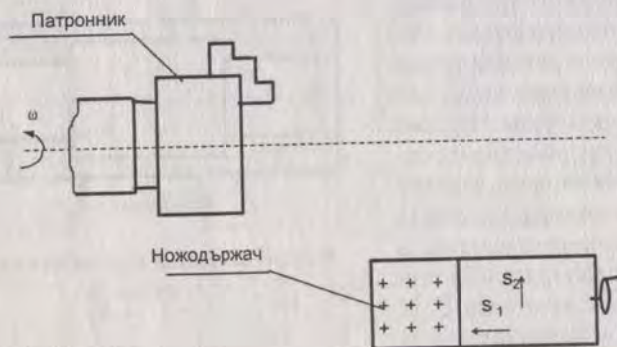


Фиг.2.2. Схема на процеса на рязане
1 - заготовка; 2 - стружка; 3 - инструмент

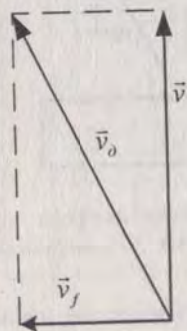
положение един спрямо друг;

- режещият инструмент и обработваният детайл да извършват определено относително движение под действието на външна сила F ;
- режещият инструмент да има подходящо оформена режеща част;
- материалът на режещия инструмент да има по-голяма твърдост от материала на обработвания детайл.

Относителното преместване на детайла и инструмента в процеса на рязане се нарича *движение на рязане*. Това движение се постига чрез сумиране на прости движения, които се придават на детайла и инструмента от изпълнителните органи на металорежещата машина. *Изпълнителни органи* на машината са тези нейни детайли, които осигуряват необходимото взаимно положение и движение на детайла и инструмента (фиг.2.3). Простите движения са два вида - въртливо и постъпателно. Освен това те могат да бъдат непрекъснати и прекъснати. Съвкупността от определен брой и вид взаимно свързани прости движения, които са съставни на движението на рязане, се нарича *кинематична схема на рязане*.



Фиг.2.3. Изпълнителни органи на машината



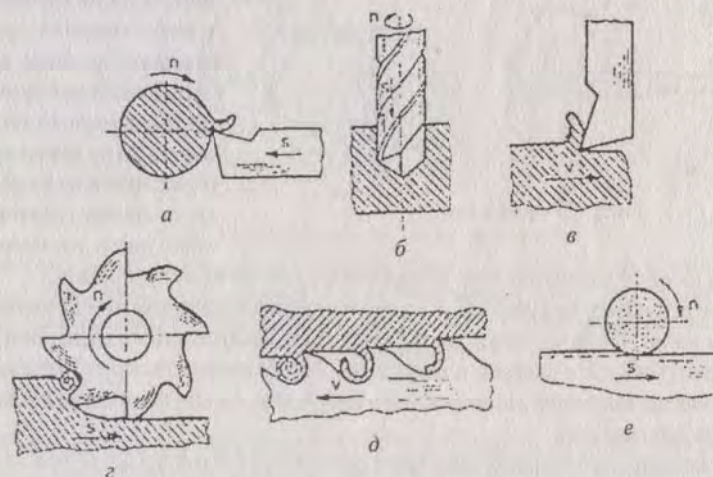
Фиг.2.4. Движение на рязане

Различните съставни движения се извършват с различни скорости. Простото съставно движение, което има най-голяма скорост, се нарича *главно движение*, а неговата скорост - скорост на главното движение или *скорост на рязане*. Това движение е необходимо за да се превърне прибавката в стружка. За да се свали прибавката по цялата обработвана повърхнина, в повечето случаи е необходимо поне още едно просто движение - т.н. *подавателно движение* или *подаване*, извършвано със *скорост*. Геометричната сума на скоростите на главното и подавателно движения се нарича *действителна скорост* на рязане (фиг.2.4). Скоростта на подавателното движение е многократно по-малка от скоростта на рязане. Поради

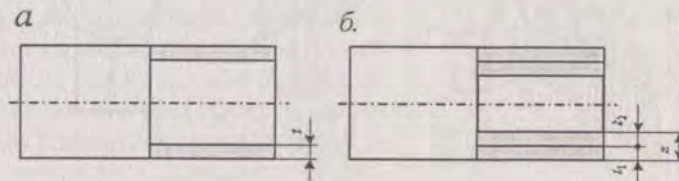
това обикновено се работи със скоростта на главното движение.

В зависимост от това, кое движение от кой елемент (детайл или инструмент) се изпълнява, се определя методът на обработване и видът на металорежещата машина. Различни методи за обработване са показани на фиг.2.5. При едно праволинейно движение се реализират процесите *протегляне* (фиг.2.5д), *стъргане* (дълбане) (фиг. 2.5в), при едно въртливо и едно праволинейно движение - процесите *струговане* (фиг.2.5а), *пробиване* (зенкерване, райбероване) (фиг.2.5б), *фрезоване* (фиг.2.5з) и т.н. Най-разпространени са кинематичните схеми на рязане с едно праволинейно и едно въртливо движения.

Разстоянието между обработената и обработваната повърхнини на детайла, измерено нормално към обработваната повърхнина, се нарича *дълбочина на рязане t* (фиг.2.6). Дълбочината на рязане винаги е перпендикулярна към направлението на подаването. Тя определя частта от прибавката, сваляна за едно



Фиг.2.5. Методи за обработване
а - струговане; б - пробиване; в - стъргане; г - фрезоване;
д - протегляне; е - плоско шлифоване



Фиг.2.6. Дълбочина на рязане

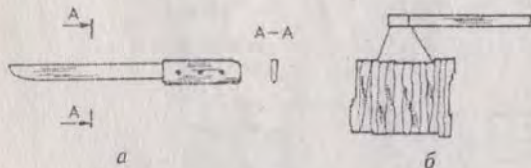
относително движение на инструмента и обработвания детайл, т.е. за един работен ход i .

Скоростта на рязане, подаването, дълбочината на рязане и още някои други параметри, които ще разгледаме по-нататък, се наричат *елементи на режима на рязане*, а тяхната съвкупност - *режим на рязане*.

2.2. Геометрични елементи на режещите инструменти

Работни повърхнини и режещи ръбове. За да може режещата част да се врязва в заготовката и да отдели прибавката, тя трябва да има формата на *клин*. Обърнете внимание на формата на режещата част на обикновения кухненски нож, брадвата и други битови режещи инструменти (фиг.2.7). Режещият клин е в основата на конструкцията на всеки режещ инструмент. Тази общност на

конструкцията предопределя и общия характер на всички явления, съпровождащи процеса на рязане. Ето защо основните закономерности на процесите на рязане и характеристиките на режещите части на инструментите може да се установят на

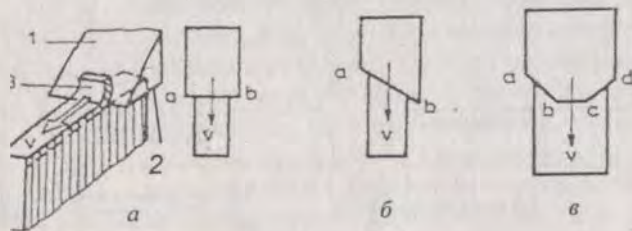


Фиг.2.7. Режещ клин

примера на един от методите за обработване, например струговане.

Във всички случаи режещият клин има най-малко две работни повърхнини - *предна и задна*. По предната повърхнина 1 (фиг.2.8а) се плъзга отделената при рязането стружка 3 , а задната повърхнина 2 е обърната към обработвания детайл. Линията, получена от пресичането на предната и зад- надната повърхнини, се нарича *режещ ръб*.

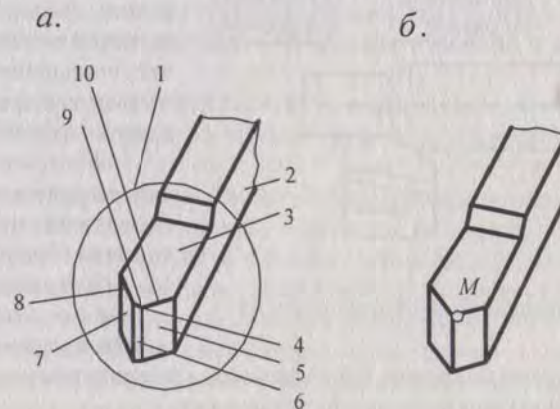
Режещите инструменти имат един режещ ръб (ab) (фиг.2.8а,б) или няколко режещи ръба (ab, bc) (фиг.2.8в).



Фиг. 2.8. Работни повърхнини на режещия клин

За обработване на материалите често се използват абразивни инструменти. Рязането при тези инструменти се извършва от абразивни зърна без оформени режещи ръбове. Особеностите на рязане с абразивни инструменти са разгледани отделно в т.2.9.

Режещият инструмент (стругарският нож от фиг. 2.9 а) се състои от *режещата част 1* и *тяло 2*. Тялото служи и за закрепване на инструмента към машината.

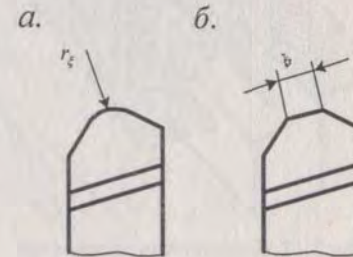


Фиг. 2.9. Елементи на стругарския нож

- 1 -режеща част; 2 -тяло; 3 - предна повърхнина; 4 - главна задна повърхнина;
- 5 - преходна задна повърхнина; 6 - спомагателна задна повърхнина;
- 7 - режещ връх; 8 - спомагателен режещ ръб; 9 - преходен режещ ръб;
- 10 - главен режещ ръб

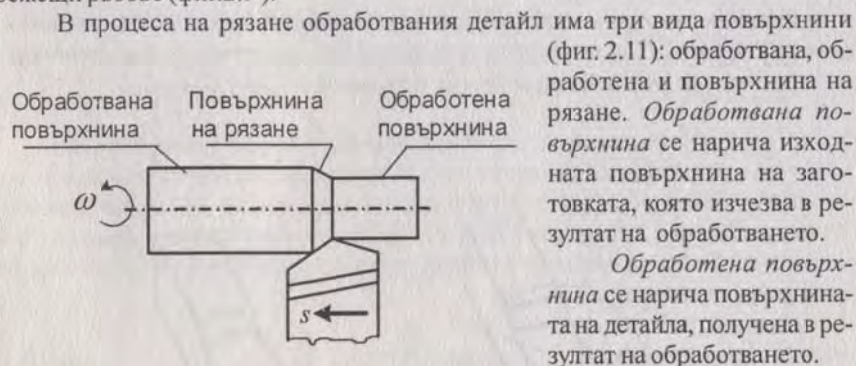
Режещата част в най-общия случай се състои от няколко повърхнини - *предна 3, главна задна 5, преходна задна 6 и спомагателна задна 7*.

От пресичането на предната и задните повърхнини се получават режещите ръбове: *главният режещ ръб 10* е получен от пресичането на предната и главната задна повърхнини; *спомагателният режещ ръб 8* е получен от пресичането на предната и спомагателната задна повърхнини; *преходният режещ ръб 9* е получен от пресичането на предната и преходната задна повърхнини. Преходният режещ ръб може да бъде дъга от окръжност, радиусът на която се обозначава с r_g (фиг.2.10а) или права линия (фаска) с дължина b (фиг.2.10б).



Фиг. 2.10. Преход между главния и спомагателния режещи ръбове

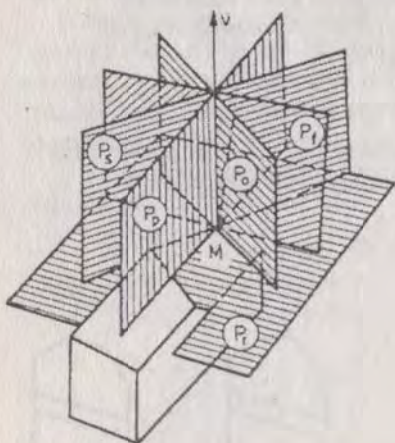
Режещ върх на инструмента се нарича най-изпъкващата точка на переходния режещ ръб (7 на фиг.2.9а). Ако инструментът няма преходен режещ ръб, върхът на инструмента - т. М се образува при пресичането на предния и задния режещи ръбове (фиг.2.9).



Фиг.2.11. Повърхнини на обработвания детайл

инструмента в процеса на рязане. Обикновено тази повърхнина съществува само в процеса на рязане и изчезва след приключването му.

Взаимно разположение на работните повърхнини. Формата на работните повърхнини на клина, разположението им една спрямо друга и спрямо съ-



Фиг.2.12. Координатни равнини на режещия инструмент
Pr - основна равнина; Ps - равнина на рязане; P0 - равнина на нормалното (главно) сечение

(фиг. 2.11): обработвана, обработена и повърхнина на рязане. Обработвана повърхнина се нарича изходната повърхнина на заготовката, която изчезва в резултат на обработването.

Обработена повърхнина се нарича повърхнината на детайла, получена в резултат на обработването.

Повърхнина на рязане се нарича повърхнината, описвана от режещия ръб на

инструмента. За еднообразие и удобство при конструиране, изработване и експлоатация на инструментите геометричните им елементи се задават в предварително определени, статична и кинематична (работна) координатни системи. Тези координатни системи са правоъгълни с начало, съвпадащо с произволна точка М от режещия ръб на инструмента. Координатните им равнини се наричат: основна равнина P_r , равнина на рязане P_s , нормална секуща равнина P_0 . Тези равнини са условни, тъй като преминават през предварително приетата точка М от режещия ръб (фиг.2.12).

Основната равнина на статичната координатна система преминава през

разглежданата точка на режещия ръб и е перпендикулярна на вектора на скоростта на рязане v .

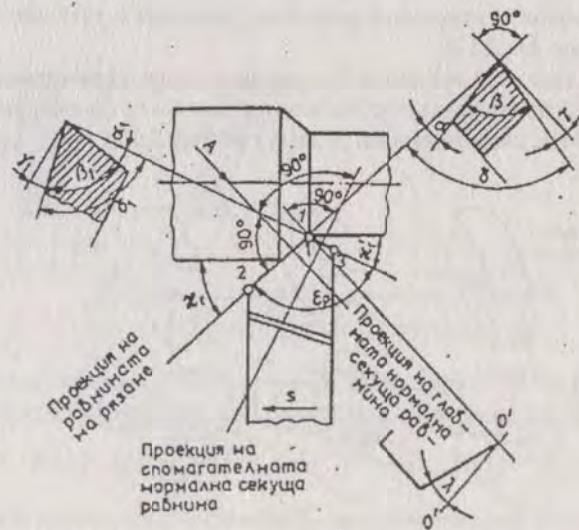
Основната равнина на кинематичната координатна система преминава през разглежданата точка на режещия ръб и е перпендикулярна на вектора на действителната скорост на рязане v_d .

Равнината на рязане е допирателна към режещия ръб в разглежданата точка или го съдържа и е перпендикулярна на основната равнина.

Нормалната секуща равнина преминава през разглежданата точка от режещия ръб и е перпендикулярна на основната равнина и на равнината на рязане.

От горните определения следва, че съществуват равнина на рязане и нормални секущи равнини за главния, преходния и спомагателния режещи ръбове.

Ще разгледаме геометрията на стругарския нож, в статичната координатна система. За удобство ще разгледаме проекцията на схемата на обработване, в която векторът на скоростта на рязане е разположен перпендикулярно на равнината на чертежа, а върхът на инструмента - т. 1 е пресечна точка на режещи ръбове (т.е. инструментът няма преходен режещ ръб) и лежи в равнината на чертежа. В този случай основната координатна равнина съвпада с равнината на чертежа (фиг. 2.13). Ако главният режещ ръб е права линия, неговата проекция 1-2 и проекцията на равнината на рязане P_s върху основната равнина съвпадат. По същата причина съвпадат проекциите 1-3 на спомагателния режещ ръб и P_s на спомагателната равнина на рязане.



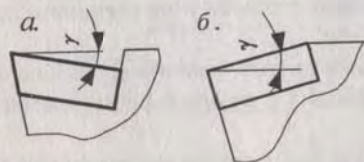
Фиг. 2.13. Геометрия на стругарския нож

Положението на предната и задната повърхнини на инструмента се определят съответно с предния и задния ъгли. Обикновено тези ъгли се задават и измерват в нормалните секущи равнини: P_0 за главния режещ ръб и P_0' за спомагателния режещ ръб.

Главен преден ъгъл γ на инструмента се нарича ъгълът между предната повърхнина и основната равнина, а главен заден ъгъл α - ъгълът между задната повърхнина и равнината на рязане, измерени в главната секуща равнина P_0 .

В спомагателната секуща равнина P_0' по същия начин се определят спомагателните преден γ_1 и заден α_1 ъгли.

Предният ъгъл се характеризира с абсолютна стойност и знак. Знакът се приема за положителен, ако ъгълът е извън тялото на инструмента (фиг.2.14 а), и за отрицателен - ако е в тялото на инструмента (фиг.2.14 б).



Фиг.2.14. Преден ъгъл γ

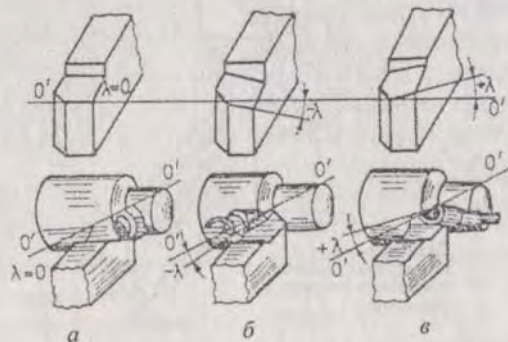
Ъгълът между предната и задната повърхнини се нарича ъгъл на заостряне β , а ъгълът между предната повърхнина и равнината на рязане - ъгъл на рязане δ :

$$\beta = 90^\circ - (\gamma + \alpha) \quad (2.1)$$

$$\delta = 90^\circ - \gamma \quad (2.2)$$

Положението на режещите ръбове спрямо направлението на подавателното движение в основната равнина се определя с установъчните ъгли χ_r, χ_r' и ξ_p (вж. фиг.2.13).

Положението на режещите ръбове спрямо основната равнина се определя с ъглите λ и λ_1 , наричани съответно ъгъл на наклона на главния режещ ръб и ъгъл на наклона на спомагателния режещ ръб (фиг.2.15).



Фиг. 2.15. Ъгъл на наклона на главния режещ ръб λ

Главният установъчен ъгъл χ_r се намира между главната равнина на рязане и установъчната равнина.

Спомагателният установъчен ъгъл χ_r' се намира между спомагателната равнината на рязане и установъчната равнина.

Ъгълът при върха на инструмента ξ_p се намира между главната и спомагателната равнини на рязане. Установъчните ъгли са свързани с формулата:

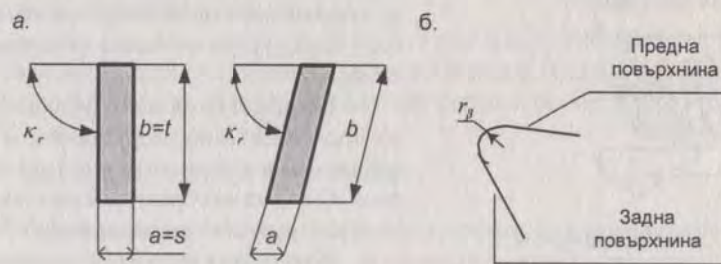
$$\chi_r + \chi_r' + \xi_p = \pi \quad (2.3)$$

2.3. Образуване на стружката при рязане

Характеристики на срязвания слой. Дълбочината на рязане t , подаването s и геометричните елементи на инструмента определят три други съществени показателя на процеса на рязане - размерите (дебелина и широчина) и площта на напречното сечение на срязвания слой материал преди този слой да се превърне в стружка, т.е. преди да се отдели от обработвания детайл. Размерите на стружката са различни от тези на срязвания слой поради протичащите в процеса на рязане пластични деформации.

Дебелина a на срязвания слой се нарича разстоянието, на което се премества режещият ръб за един оборот или за един двоен ход, измерено нормално към режещия ръб (фиг.2.16а):

$$a = s \cdot \sin(\chi_r) \quad (2.4)$$



Фиг. 2.16. Характеристики на срязвания слой

Широчината b на срязвания слой е равна на тази част на режещия ръб, която непосредствено участва в рязането. Определя се по формулата

$$b = t / \sin(\chi_r) \quad (2.5)$$

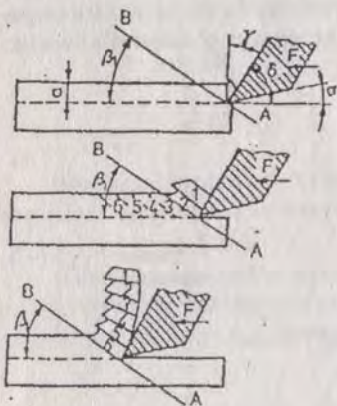
Площта на напречното сечение S_n на срязвания слой метал се определя като произведение на a и b или s и t :

$$S_n = a.b = s.t. \quad (2.6)$$

Минималната дебелина на срязвания слой метал се определя от остротата на режещия ръб на инструмента. Ако се погледне сечението на режещия ръб под микроскоп, се вижда, че двете повърхнини - предната и задната, са съединени със закръгление с радиус r_β (фиг.2.16б). Това закръгление е нежелателно, но то не може да се избегне. Големината на радиуса r_β зависи от структурата на материала на режещия инструмент. Колкото по-дребнозърнеста е тази структура, толкова по-малък е радиусът. Процесът на рязане е възможен, когато $a \geq r_\beta$. Когато $a < r_\beta$, не се срязва слой метал, а инструментът пластично деформира обработваната повърхнина (фиг.2.16в).

Интензивността W на процеса на рязане изразява обема материал, срязан за единица време, и се определя от произведението на режимите на рязане:

$$W = v.s.t. \quad (2.7)$$



Фиг. 2.17. Схема на образуване на стружката

деформира материала по пътя на движението си. При достигане на най-голямата възможна за дадения материал деформация, той се откътва и измества в посока на равнината $A-B$, като образува елемент на стружката. Тази равнина се нарича *равнина на изместването*. Тя образува допирателната към повърхнината на рязане ъгъл β_1 , който се нарича *ъгъл на изместване*. След откътването и изместването на първия елемент на стружката режещият инструмент деформира следващия, като образува втория елемент на стружката и т.н. При образуването на елементите на стружката съпротивителната сила на срязвания материал по-

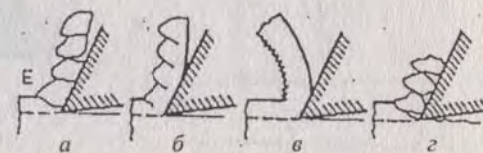
степенно нараства, а след изместването на поредния елемент намалява. Получаваната при рязане на металите стружка в зависимост от формата и структурата си се разделя на четири основни вида: елементна, съставна, непрекъсната и къртеща се.

Елементната стружка се състои от отделни приблизително еднакви елементи (фиг.2.18а), разделени или слабо свързани един с друг. Такава стружка се получава при обработване на твърди крехки материали с малки скорости на рязане.

Съставната стружка се състои от отделни силно деформирани елементи, здраво свързани един с друг (фиг.2.18б). Такава стружка се получава обикновено при обработване на пластични материали със средна скорост на рязане.

Непрекъснатата стружка се образува при обработване на пластични материали с малка якост с големи скорости на рязане и малка дебелина на срязвания слой (фиг.2.18в). Тя се отделя от обработваната повърхнина като винтообразна лента или плоска спирала. Непрекъснатата стружка е опасна, тъй като може да доведе до нараняване на работещия. Затова в случаите, когато има условия за получаване на такава стружка, се вземат специални мерки за допълнителното и деформиране и начупване на по-дребни парчета (фиг.2.19а): използват се инструменти със стружкочупещи устройства (фиг. 2.19б) или със специална геометрия (фиг.2.19в,з,д).

Къртещата се стружка (фиг.2.18з) се образува при обработване на твърди и крехки материали при нормални условия на рязане. Състои се от несвързани едно с друго парчета материал с различна форма и размери.



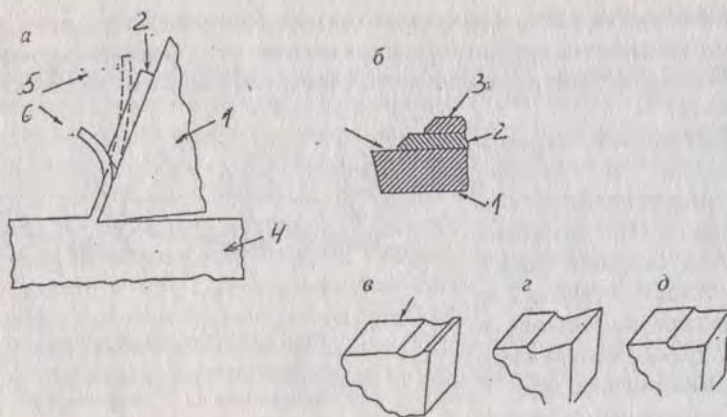
Фиг.2.18. Видове стружки
а - елементна; б - съставна;
в - непрекъсната; з - къртеща се

2.4. Сили и работа на рязане

Сили на рязане. За да се осъществи процесът на рязане инструментът и обработвания детайл трябва да са разположени така, че при извършване на движенията на рязане инструментът да се връзва в заготовката под действието на силата F . Силата на рязане F е необходима за разрушаване на обработвания материал и превръщането му в стружка.

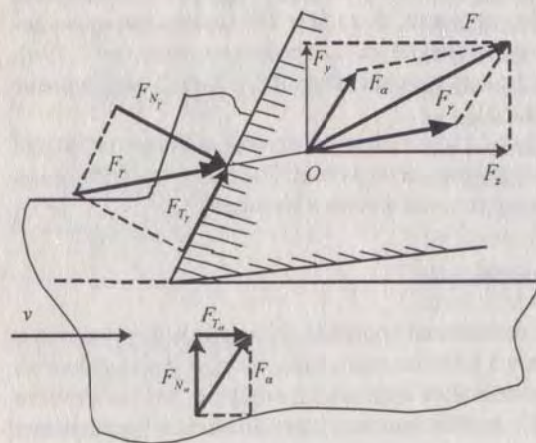
Силата F (фиг.2.20) е резултантна на силите F_y и F_x , действащи съответно по предната и задната повърхнини на инструмента. От своя страна силите F_y и F_x са резултантни на съответните нормални сили $F_{N\alpha}$ и $F_{T\alpha}$ и на силите на триене:

$$F_x = F_{N\alpha} + F_{T\alpha}; \quad (2.8a)$$



Фиг.2.19. Чупене на стружките

а - схема на чупене на стружките; б - стружкочупецо устройство;
 в, з, д - инструменти със специална геометрия - радиусна фаска, положителен
 преден ъгъл и нулев преден ъгъл; 1 - инструмент; 2 - стружкочупеца пластина;
 3 - пластина за закрепване; 4 - обработван детайл; 5 - недеформирана стружка;
 6 - деформирана стружка



Фиг.2.20. Сили на рязане на рязане

в координатната система на машината. Съставните на силата на рязане се обозначават с индекс, съответстващ на координатна ос x , y или z .

Координатната ос z съпада с направлението на главното движение на рязане (скоростта v), силата F_z се нарича главна (тангенциална) (фиг. 2.21).

$$F_y = F_{N_y} + F_{T_y}; \quad (2.86)$$

$$F = F_{\alpha} + F_y. \quad (2.86)$$

При свободно правоъгълно рязане силата F е разположена в равнината на чертежа, а при свободно наклонено рязане и при несвободно рязане заема произволно положение в пространството.

За удобство при изучаване и проектиране на процеса на рязане силата F се разлага на съставни сили

Координатната ос y е нормална на обработваната повърхнина, силата F_y се нарича нормална (радиална). Координатната ос x съпада с направлението на подавателното движение, силата F_x се нарича подавателна (осова).

Големината на силата на рязане F зависи от физико-механичните характеристики на обработвания материал, материала и геометрията на режещия инструмент и условията на работа. Тя може да се изчисли по емпирични формули или да се определи експериментално. Емпиричните формули за изчисляване на силата на рязане ще разгледаме при изучаване на различните методи на обработване. Експериментално силата на рязане се определя със специални уреди, наречени динамометри.

Работа на рязане. За осъществяване на процеса на рязане се изразходва определено количество работа A , необходима за еластично и пластично деформиране на обработвания материал, за преодоляване на силата на триене по предната и задната повърхнини на инструмента, за образуване (диспергиране) на новата обработана повърхнина.

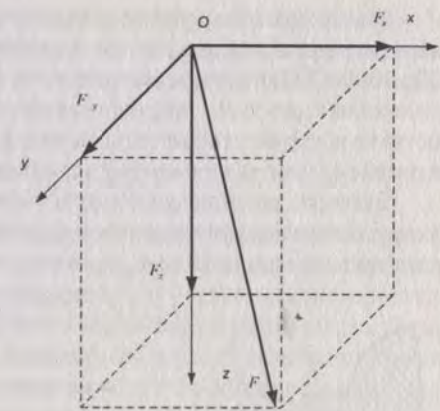
Ако пренебрегнем частта от работата, изразходвана за диспергиране, то работа за рязане A може да се определи по формулата

$$A = A_v + A_f. \quad (2.9)$$

където $A_v = F_z \cdot v \cdot \tau$ е работата, изразходвана в направление на главното движение; $A_f = F_x \cdot v_f \cdot \tau$ - работата, изразходвана в направление на подавателното движение; τ - времето за рязане.

Топлинни явления при рязане. По-голямата част от работата, изразходвана за процеса на рязане (около 95%), се превръща в топлина, останалата част (около 5%) се изразходва за преодоляване на съпротивлението по направление на подаването и за механично уякчаване на стружката и обработената повърхнина).

От формула (2.8) се вижда, че колкото по-големи са силите и скоростите на рязане, толкова по-голяма е работата, изразходвана за рязане, следователно толкова по-голямо е отделеното количество топлина в зоната на рязане. В същото време интензивността на процеса на рязане W , оказваща непосредствено влияние върху производителността (виж формула 2.7), също зависи от режимите на рязане. Ето защо на изучаването на топлообразуването при рязане се отделя голямо внимание.



Фиг.2.21. Разположение на силите

Макар че в инструмента постъпва сравнително малка част от образуваната при рязане топлина, той се нагрива до висока температура, понякога до 900...1000 °С. Най-силно е нагриването му около режещия ръб и в центъра на контакта на стружката с предната повърхнина. Средната температура на повърхността на инструмента в местата на контакта му със стружката и с повърхнината на рязане се нарича *температура на рязане*.

Високата температура в зоната на рязане оказва влияние на образуването на стружката и на други важни показатели на процеса на рязане. Затова е желателен такъв топлинен баланс, при който количеството топлината, отнасяно от стружката, е възможно най-голямо.

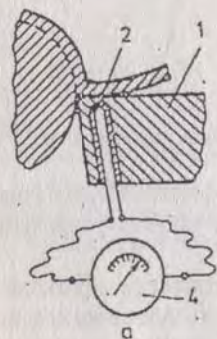
Температурата в различните точки на режещия инструмент се измерва с помощта на термодвойки - изкуствена, полуискуствена и естествена.

На фиг.2.22 е показана схемата на измерване на температурата с изкуствена термодвойка - две жички с диаметър 0,1...0,3 mm от различен материал (мед-константан, железоконстантан и други метали), запоени една към друга в единия си край. Термодвойката 2 се поставя в предварително пробит отвор на инструмента 1, който стига близо до предната му повърхнина. В процеса на рязане двете жички се нагриват в мястото на спойката и в тях възниква електродвижещо напрежение, което се регистрира с галванометъра 3. Върху температурата на рязане оказват влияние обработваният материал, режещият инструмент и условията на рязане.

Обработваният материал оказва влияние върху температурата на рязане чрез физико-механичните си свойства. При обработване на пластични материали температурата на рязане е по-висока, отколкото при обработване на крехки. Например, при обработване на стомани температурата на рязане е около 1,5 пъти по-голяма, отколкото при обработване на чугун. Температурата расте и при увеличаване на якостта на обработвания материал. При обработване на цветни метали и сплави поради малката им якост и повишена топлопроводност температурите на рязане са малки.

Режещият инструмент оказва сравнително слабо влияние върху температурата на рязане чрез материала и геометрията на режещата си част. Температурата на рязане е по-голяма при инструментални материали с по-малка топлопроводност.

Условията на работа се определят от режимите на рязане и мажещо-охлаждащата течност.



Фиг. 2.22. Измерване на температурата с изкуствена термодвойка

- 1 - режещ инструмент;
- 2 - термодвойка;
- 3 - галванометър

С увеличаването на стойностите на елементите на режима на рязане - скоростта на рязане v , подаването s и дълбочината t , температурата на рязане се увеличава, но не пропорционално. Тя се определя от емперичната зависимост

$$Q = C_Q \cdot v^{n_Q} \cdot s^{y_Q} \cdot t^{x_Q}, \quad (2.10)$$

където C_Q е константа, с която се отчитат физико-механичните свойства на обработвания и инструменталния материали; n_Q, y_Q, x_Q - степенни показатели.

Най-силно влияние върху температурата на рязане оказва скоростта на рязане, след това подаването, най-слабо е влиянието на дълбочината. Поради това, ако трябва да се свали стружка с определена площ на напречното сечение, по-изгодно е да се работи с по-голяма дълбочина и по-малко подаване.

2.5. Мазане и охлаждане при рязане на металите

Много често в зоната на рязане се подават различни мажещо-охлаждащи течности (МОТ). В процеса на рязане тези течности оказват мажещо, охлаждащо и миешо действие.

Мажещото действие на МОТ се проявява в способността им да създават на контактуващите повърхнини на инструмента, стружката и заготовката тънък междинен слой, който напълно или частично предотвратява непосредствения контакт на тези повърхнини. При това се намалява коефициентът на триене и адхезията, а следователно се намаляват работата за триене, силите и мощността на рязане и отделеното количество топлина. В крайна сметка мажещото действие на МОТ намалява износването на инструмента. Това действие е ефективно при малки и средни скорости на рязане.

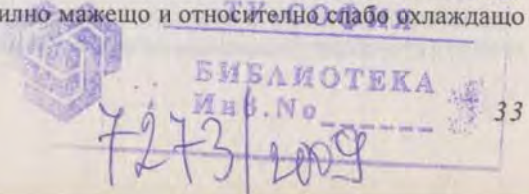
Охлаждащото действие на МОТ е за сметка на конвективен топлообмен и в по-малка степен за сметка на изпаряването на част от МОТ. Чрез охлаждането се намалява температурата в зоната на рязане и, в частност, температурата на инструмента.

Миешото действие на МОТ спомага за по-лесното отстраняване на стружките, наслойката по контактните повърхнини и частиците от износване на инструмента (при обработване с абразивни инструменти).

Според химичния си състав МОТ се делят на емулсионни, маслени и синтетични.

Емулсията представлява сапунен воден разтвор, в който са разпределени много малки капки масло. Емулсионните МОТ имат силно охлаждащо и относително слабо мажещо действие.

Маслените МОТ представляват минерални, растителни и животински масла или смеси на минерални и растителни масла. Към тях в някои случаи се добавя сяра. Маслените МОТ имат силно мажещо и относително слабо охлаждащо действие.



Синтетичните МОТ съдържат повърхностно активни и мокрещи вещества, антифрикционни и противозадиращи добавки. Те имат добро смазващо и охлаждащо действие.

При рязане с твърдосплавни инструменти много често не се използва МОТ, тъй като при рязането нагряване и охлаждане на инструмента в него се появяват пукнатини. Рядко се използва МОТ и при грубо обработване на чугуни, тъй като работното място много силно се замърсява. Не се допуска използването на емулсии при обработването на магнезиеви сплави, тъй като това може да доведе до възпламеняване в зоната на рязане.

Мажещо-охлаждащата течност се подвежда в зоната на рязане по три схеми:

а. Поливане със свободно падаща струя (фиг.2.23а). Това е универсален и надежден метод и затова е широко разпространен.

б. Подаване на МОТ под налягане (фиг.2.23б). При използване на тази схема интензивността на охлаждане се повишава 2...3 пъти.

в. Подаване на МОТ в аерозолно състояние. При тази схема разходът на МОТ е малък, охлаждането е ефективно, а работното място - почисто.

За мазане и охлаждане в процеса на рязане освен течности се използват твърди и газообразни вещества.

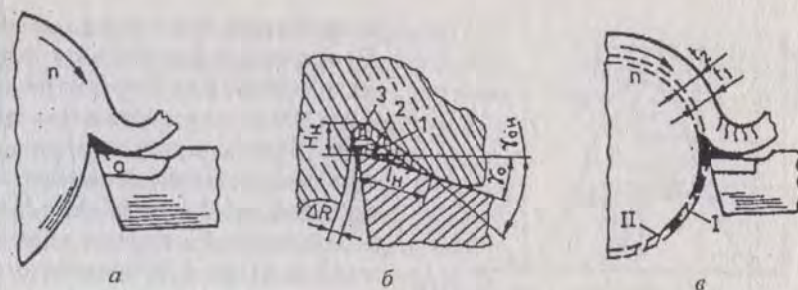
Като твърди мажещи вещества се използват сапун, парафин, восък,

графит, калциев хлорид и др. а като газообразни - азот, въглероден оксид и др.

2.6. Образуване на наслойка при рязане на металите

В процеса на рязане при определени условия около главния режещ ръб на инструмента се натрупва силно деформирана маса частици от обработвания материал, здраво свързани с предната повърхнина на инструмента. Тази маса частици *a* (фиг.2.24а) има клиновидна форма и се нарича *наслойка*.

Образуването на наслойка може да се обясни със следното. В процеса на рязане пластично деформираната стружка действа върху предната повърхнина на инструмента с голямо налягане. Освен това в зоната на рязане възниква висока температура. При движението на стружката по предната повърхнина на инструмента поради голямото налягане и температура и поради наличието на грапавини по предната повърхнина възниква явлението *адхезия* между инструмента и стружката. Вследствие на това явление върху предната повърхнина на



Фиг. 2.24. Образуване на наслойка

инструмента се образува тънък слой *1* от обработвания материал (фиг.2.24б). Върху него се натрупват постепенно други слоеве *2*, *3* и т.н. с обща височина H_{II} .

Твърдостта на наслойката в резултат на пластичното деформиране е 2,5 - 3,5 пъти по-голяма от твърдостта на обработвания материал. Тъй като е продължение на режещия клин на инструмента, наслойката изменя неговата геометрия и участва в процеса на рязане. Това съществено влияе на деформациите на срязвания слой, на възникващите сили и на качеството на обработената повърхнина (фиг.2.24в).

Наслойката се разрушава, когато якостта и стане по-малка от действащото налягане на стружката. Една част от разрушената наслойка се отнася от движещата се стружка, другата част - от повърхнината на рязане и обработената повърхнина. В резултат на това качеството на обработената повърхнина се влошава.

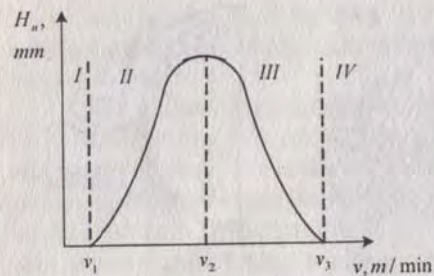
Условията, при които възниква наслойка, са следните:

- обработване на пластични материали с образуване на непрекъсната стружка;
- непрекъснат процес на рязане (струговане, пробиване);
- определен диапазон на скорости на рязане и температури в зоната на рязане.

При обработване на крехки материали, при прекъснато рязане и при много малки или много големи скорости на рязане наслойка не се образува.

Най-съществено влияние върху образуването на наслойка оказва скоростта на рязане (фиг.2.25). При много малки скорости на рязане (зона *1*) температурата в зоната на рязане е малка и недостатъчна за възникване на адхезия, наслойка не се образува. При увеличаване на скоростта на рязане от v_1 до v_2 (зона *2*) температурата в зоната на рязане се увеличава и започва образуването на наслойка. Този процес е най-интензивен при скорости на рязане от 10 до 50 m/min, когато температурата в зоната на рязане е около 300 °C.

При увеличаване на скоростта от v_2 до v_3 (зона *3*) интензивността на образуване на наслойка намалява поради увеличената температура в зоната на рязане



Фиг.2.25. Влияние на скоростта на рязане върху температурата на рязане и образуването на наслойка

нието на размерите - до намаляване на точността на обработване.

Режещият инструмент работи при много по-тежки условия, отколкото другите детайли на машините - 300...400 пъти по-големи налягания и 15...20 пъти по-големи температури. Затова и неговото износване е много по-интензивно. В зависимост от природата на износването то може да бъде адхезионно, абразивно, дифузионно и химично.

Различните видове износвания протичат едновременно, като в зависимост от конкретните условия преобладава един или друг вид. Освен това в различна степен се износват различните повърхнини на режещия инструмент - предимно предната, предимно задната или двете равностойно. Големината на износването се определя с линейни размери.

Износването по задната повърхнина се вижда във вид на площадка със заден ъгъл $\alpha_n = 0^\circ$ и размер h_z (фиг.2.26а).

Износването по предната повърхнина на инструмента се вижда като кратерче (фиг.2.26в) с дълбочина h_n , широчина a , дължина B на разстояние f от началото на режещия ръб. В процеса на рязане размерите h_n , a и B се увеличават, а размерът f намалява (фиг.2.26б). Когато f стане равно на нула, износването е пълно.

Големината на износването в направление на получавания размер се

и намалената якост на наслойката. При скорости на рязане над v_3 (зона 4) температурата в зоната на рязане е над 600°C и наслойка не се образува. Граничната скорост на рязане, при която престава да се образува наслойка, зависи от дебелината на срязвания слой материал, големината на ъгъла γ_o и наличието на мажещо-охлаждаща течност.

2.7. Износване на режещите инструменти

В процеса на рязане в резултат на силови, топлинни и други въздействия от режещия инструмент постепенно се отделят частици материал. При това геометричната форма и размерите на режещата част на инструмента се изменят. Изменението на геометричната форма води до намаляване на режещата способност на инструмента, а измене-

нарича *размерно износване* h_z . Например при струговане на цилиндрична повърхнина износването на стругарския нож в радиално направление непосредствено се отразява върху стойността на диаметъра на тази повърхнина.

Интензивността на износването не е постоянна във времето и се описва с крива, условно разделена на три части (фиг.2.27). Всяка част от кривата съответства на определен период от износването на инструмента.

Първият период (I) е на *началното износване*. През този период интензивно се износват по-изпъкналите частици от повърхнините на инструмента.

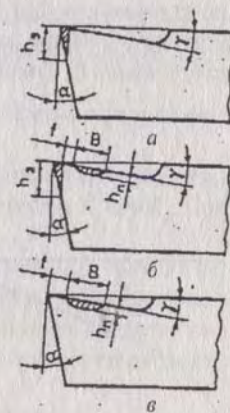
Вторият период (II) обхваща времето за *нормално износване*. Кривата на износването в този участък може да се разглежда като права линия A-B, т.е. износването нараства постепенно, пропорционално на времето на работа на инструмента.

Третият период (III) е на *ускорено* (катастрофално) *износване*. При него резко се повишават силите на рязане и температурата в зоната на рязане и започва разрушаване на режещата част на инструмента. Не трябва да се допуска работа на инструменти, чието износване е в този участък на кривата.

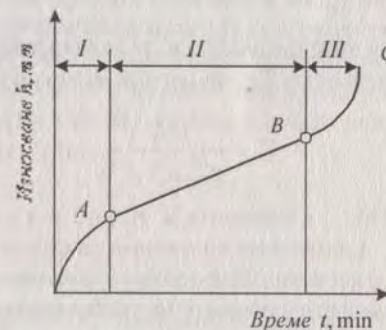
След като инструментът е загубил режещата си способност, той трябва да се презаточи, за да се възстановят първоначалната му форма и размери. Ако инструментът е със сменяема режеща пластина, тя трябва да се завърти или смени с нова. Във връзка с това възниква задачата, как да се определи този момент. Тази задача се решава като се използват стойностите на износването по задната или предната повърхнини.

Максимално допустимата стойност на износването h_z по задната повърхнина или износването h_n по предната повърхнина се нарича критерий на износване и се обозначава с $h_{z,крит}$ или $h_{n,крит}$, съответно. Стойностите на тези критерий са дадени в технологичните справочници.

Най-често критерият на износването е равен на ординатата на т.В от кри-

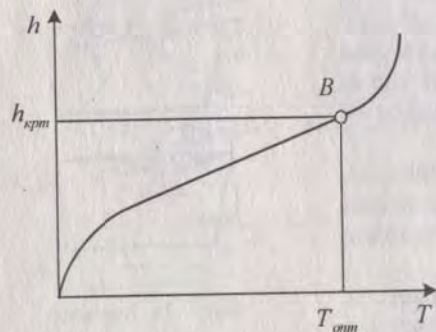


Фиг. 2.26. Характер на износването на режещите инструменти



Фиг. 2.27. Зависимост на износването на инструмента от времето на работа

вата на износването (фиг.2.28). Времето за непрекъсната работа на режещия инструмент до достигане на приетия критерий за износване се нарича *трайност на инструмента T*. Трайността се измерва в минути. Колкото е по-голяма интензивността на износването, толкова трайността при равни други условия е по-малка. Трайността на инструментите е важен фактор, влияещ върху производителността и себестойността на обработването.



Фиг. 2.28. Определяне на критерия на оптимално износване

Трайността зависи от физико-механичните свойства на материалите на инструмента и на обработвания детайл и от условията на работа. От елементите на режима на рязане най-силно влияние върху трайността оказва скоростта на рязане. Това е свързано основно с влиянието на скоростта върху температурата на рязане, а оттам и

върху интензивността на различните видове износване. Опитно е установено, че трайността T и елементите на режима на рязане са свързани със зависимостта

$$T = \frac{C_T}{v^{n_T} \cdot s^{y_T} \cdot f^{x_T}}, \text{ min} \quad (2.11)$$

където C_T е константа, а n_T , y_T и x_T - степенни коефициенти.

Елементите на режима на рязане оказват влияние върху трайността по различен начин. Най-голямо е влиянието на скоростта, след това на подаването, най-малко е влиянието на дълбочината на рязане.

2.8. Качество на повърхностния слой на обработената повърхнина

Към повърхностния слой на материала на обработваните повърхнини се предявяват експлоатационни изисквания за износоустойчивост, якост, корозионна устойчивост и др. Тези изисквания се осигуряват от редица показатели на качество на повърхностния слой, част от които се формират в процеса на рязане: грапавост, структура на слоя, степен на деформация на метала, механично уякчаване, остатъчни напрежения и др. По-важните от тях са *грапавостта* и *механичното уякчаване*.

Получените в резултат на обработването реални повърхнини на детайлите се различават от номиналните (идеалните, теоретичните). Освен това след

обработването повърхнините на детайлите не са идеално гладки. По тях в определен ред са разположени издатини с различна височина и форма, наричани *грапавини*.

Съвкупността от грапавините, оформящи релефа на повърхнината, се нарича *грапавост* на повърхнината.

Върху чертежите грапавостта на повърхнините, получени чрез рязане, се обозначава със знака ∇ и числената стойност на параметъра R_z или R_a . При това стойността на R_a се посочва без символа, например $\nabla^{0.63}$.

Формата, размерите и разположението на грапавините зависят от множество фактори - метода на обработване, геометрията и състоянието на режещия инструмент, режимите на работа, физико-механичните свойства на обработвания материал, стабилността и състоянието на технологичната система и др.

Височината на грапавините е по-голяма при обработване на пластични материали и по-малка при обработване на крехки материали.

От геометричните параметри на инструмента най-силно влияние върху грапавостта оказват радиусът при върха r_c и установъчните ъгли k_r и k_r' , а от елементите на режима на рязане - подаването s и скоростта на рязане v .

Схемата на образуване на грапавините при струговане с инструмент с $r_c = 0$ е показана на фиг.2.29а. За един оборот на заготовката инструментът се премества на разстояние s . Върху обработената повърхнина остава несръзно гребенче с формата на триъгълник. Когато $r_c \neq 0$, формата на грапавините се получава от криволинейните участъци на главния и спомагателния режещи ръбове (фиг.2.29б). От тази схема следва

$$(r_c - R_z)^2 = r_c^2 - \left(\frac{s}{2}\right)^2$$

Ако в тази зависимост се пренебрегне R_z^2 като много малка величина, се получава

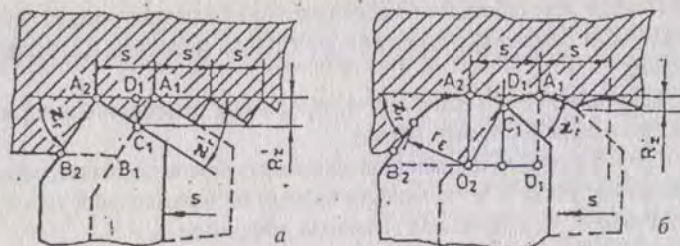
$$R_z = \frac{s^2}{8r_c} \quad (2.12)$$

От фиг.2.29 може да се оцени влиянието на ъглите k_r и k_r' върху R_z . Както се вижда, с намаляването на тези ъгли височината на грапавините също намалява.

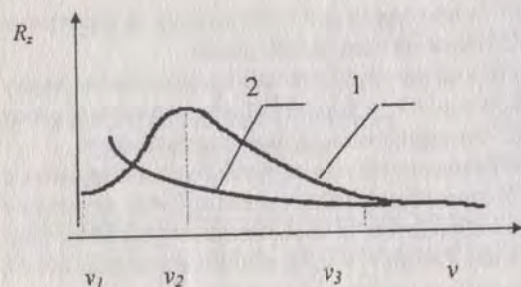
От формула (2.11) се вижда, че височината на грапавините намалява с увеличаване на радиуса r_c и с намаляване на подаването s .

Скоростта на рязане влияе върху изменението на грапавостта чрез температурата и триенето в зоната на рязане (фиг.2.30).

За крехки материали, при обработването на които не се образува наслойка,



Фиг. 2.29. Геометрична схема на образуване на грапавините



Фиг. 2.30. Влияние на скоростта на рязане върху височината на грапавините

височината на грапавините намалява с увеличаване на скоростта на рязане (крива 1).

За пластични материали зависимостта "скорост-височина на грапавините" има максимум (крива 2). При изменение на скоростта на рязане от v_1 до v_2 наслойка се образува поинтензивно и R_z се увеличава. В интервала от v_2 до v_3 интензивността на образуване на наслойка намалява и

съответно намалява R_z .

Дълбочината на рязане почти не влияе върху R_z .

Силно влияние върху височината на грапавините оказва състоянието на режещия инструмент. С износването на инструмента триенето в зоната на рязане се увеличава, увеличава се и R_z .

Използването на мажешо-охлаждащи течности спомага за намаляване на височините на грапавините при обработване на пластични материали главно за сметка на намаляването на температурата и на интензивността на образуване на наслойка, а при по-големите скорости и за сметка на намаляване на триенето.

Процесът на рязане винаги се съпровожда с пластично деформиране на обработваната повърхнина. В резултат на това твърдостта и якостта на повърхностния слой се увеличават в сравнение със същите характеристики на основния метал. Това явление се нарича *механично уякчаване* или *наклепване*, а самият слой - *наклев*. Механичното уякчаване се характеризира с два показателя - степен и дълбочина.

Степента на механичното уякчаване ΔH показва относителното увели-

чаване на микротвърдостта на повърхностния слой H_y спрямо твърдостта на основния метал H_a

$$\Delta H = \frac{H_y - H_a}{H_y} \cdot 100\% \quad (2.13)$$

Това увеличаване е по-голямо за материалите с по-малка якост.

Дълбочината на механичното уякчаване h_y се измерва с дълбочината на слоя, в който се изменя микротвърдостта H . Тази дълбочина за стомани със средна твърдост е 0,4...0,5 mm при грубо обработване и 0,07...0,09 mm при чисто обработване.

2.9. Особенности на процеса на рязане с абразивни инструменти

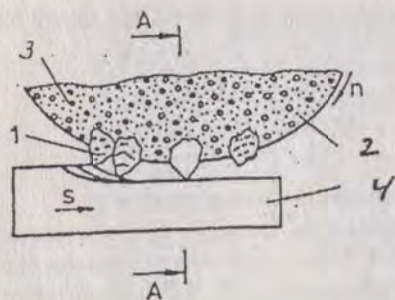
Абразивното обработване е особен процес на рязане с режещите ръбове на абразивни зърна, които имат висока твърдост и топлоустойчивост. Зърната са свързани със специални вещества (свързки) във вид на инструменти с формата на дискове, брусове, сегменти или ленти (фиг.2.31). Рязането може да се извършва и с несвързани (свободни) абразивни зърна.

Рязането се извършва едновременно от голям брой зърна, разположени хаотично по отношение на обработваната повърхнина. Абразивните зърна 1, здраво закрепени със свързващото вещество 2, при въртенето на диска 3 срязват тънки слоеве материал от обработвания детайл 4, който се премества постъпателно (фиг.2.32). Зърната образуват прекъснат контур, при това различните зърна се намират на различно разстояние от обработваната повърхнина. Поради тази причина не всички зърна, образуващи контура, участват в рязането. Затова зърната се делят на режещи, притискащи и нерезещи. Реално 85...90 % от абразивните зърна не режат, а деформират и уякчават (наклепват) обработваната повърхнина.



Фиг.2.31. Абразивни инструменти

Процесът на рязане се извършва с много големи (при шлифоване) или много малки (при притриване) скорости на рязане. Дебелината на слоя, срязван от едно зърно, е малка. Обемът материал, срязван от едно зърно за единица време, е стотици хиляди пъти по-малък от обема материал, срязван от един зъб



Фиг.2.32. Схема на рязане с абразивен диск

1 - абразивни зърна; 2 - свързващо вещество; 3 - абразивен диск; 4 - обработван детайл

на фреза.

Обикновено абразивните зърна имат отрицателни предни ъгли, а ъгълът на рязане е по-голям от 90° . Големите скорости на рязане при шлифоване и неблагоприятната геометрия на зърната водят до образуването на голямо количество топлина в зоната на рязане и съответно на висока температура (до $1000...1500^\circ\text{C}$). Високата температура може да доведе до пригаряне на повърхностния слой на обработваната повърхнина, а при шлифоване на закалени стомани и до отвърщане. Пригарянето на повърхностния слой при шлифоване на стомани зрително се наблюдава като

посиняване на повърхнината.

Абразивните методи основно се използват предимно за окончателно (чисто и фино) обработване на повърхнините на детайлите. Поради голямата твърдост на абразивните зърна е възможно да се обработват закалени материали.

2.10. Определяне на режимите на рязане

За нормалното протичане на процеса на рязане е необходимо да се работи с подходящи режими на рязане - дълбочина t , подаване s и скорост v . При избирането на режимите на рязане трябва да се отчитат многобройни фактори: материала на обработвания детайл; материала и геометрията на режещия инструмент; зададеното качество на обработваните повърхнини; зададената производителност; условията и типа на производството и др. Тук ще разгледаме само най-общите условия, които трябва да се спазват при избирането на режимите на рязане.

Режимите на рязане се избират в последователност: дълбочина на рязане, подаване, скорост на рязане, при това трябва да се отчита характерът на обработването - грубо или чисто. Предварително се избира материалът на режещия инструмент и неговата геометрия.

При *грубото* обработване се сваля основното количество излишен материал. Поради това се работи с възможно най-големи дълбочина на рязане и подаване. Те се избират така, че да се използват най-пълно якостните възможности на инструмента и машината. При едно и също сечение на срязвания слой е по-изгодно да се работи с по-голяма дълбочина на рязане и по-малко подаване.

При *чистото* обработване се осигурява предписаното качество на обра-

ботваната повърхнина. Тъй като за чисто обработване се оставя малка прибавка, дълбочината на рязане е малка. Подаването се избира от условието за осигуряване на необходимата грапавост на обработваната повърхнина.

Скоростта на рязане се определя от уравнение (2.10). В това уравнение обаче участва трайността на инструмента. Ето защо трайността трябва да се определи предварително. Трайността на инструмента се определя главно от икономически съображения. В технологичните справочници, с помощта на които се избират режимите на рязане, са дадени и препоръчаните стойности на трайността за различните инструменти и условия на работа.

След определянето на скоростта на рязане при въртливо главно движение се изчислява съответната честота на въртене на вретеното, а при възвратно-постъпателно главно движение - честотата на двойните ходове.

Ако кинематиката на машината не може да реализира избраното подаване и честота на въртене (или честота на двойните ходове), се избират най-близките възможни (обикновено по-малки) стойности. След това се изчислява реалната скорост на рязане.

Глава 3

ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА ИНСТРУМЕНТАЛНИТЕ МАТЕРИАЛИ И РЕЖЕЩИТЕ ИНСТРУМЕНТИ

3.1. Инструментални материали

Изисквания към материалите за изработване на режещи инструменти. Производителността при обработване в значителна степен зависи от скоростта на рязане и времето, за което инструментът запазва формообразуващата си и режещата си способност при тази скорост. От друга страна в процеса на рязане режещият инструмент е подложен на силово и топлинно въздействие и износване. Ето защо към физико-механичните свойства на инструменталните материали се предявяват изисквания за твърдост, якост, топлопроводност, топлоустойчивост, износоустойчивост и обработваемост.

Твърдостта на инструменталния материал трябва значително да превишава твърдостта на обработвания материал, за да може режещият клин на инструмента да се врязва в обработваната повърхнина.

Топлопроводността на инструменталните материали трябва да бъде голяма, за да се осигури отвеждането на възникващата в зоната на рязане топлина от работната част на инструмента.

Топлоустойчивостта характеризира способността на инструменталния материал да запазва твърдостта и якостта си до определена температура. Темпе-

ратурата, при която инструменталният материал губи тези си свойства, т.е. загубва режещата си способност, се нарича *критична*. Колкото по-висока е тази температура, с толкова по-висока скорост на рязане може да работи режещият инструмент.

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

За изработване на режещите инструменти се използват всички известни методи за обработване: леене, пластично деформиране, рязане, термообработване, запояване, нанасяне на покрития. Ето защо инструменталните материали трябва да имат добра *обработваемост*.

За изработване на режещи инструменти се използват:

- инструментални стомани;
- металокерамични твърди сплави;
- минералокерамични материали;
- свръхтвърди материали;
- абразивни материали.

Освен това за изработване на телата на съставните инструменти се използват конструкционни стомани марки 40, 45, 50, 40X, 45X, 40XH и др.

Инструментални стомани. В зависимост от химичния си състав инструменталните стомани са въглеродни, легирани и бързорежещи.

Въглеродните стомани са били основният инструментален материал до 70-те години на 19 век. В тези стомани въглеродът е основният елемент, определящ физико-механичните им свойства. За изработване на режещи инструменти се използват основно *висококачествени* въглеродни стомани. След съответно термообработване твърдостта на тези стомани достига HRC 58-64. Те имат малка топлоустойчивост (200 - 250 °C) и износоустойчивост, лошо се закаляват, но са евтини и добре се шлифват. В настояще време се използват основно за изработване на пили и дървообработващи инструменти.

Легираните стомани съдържат хром, волфрам, молибден, ванадий и други елементи. След термообработване и закаляване тези стомани имат твърдост HRC 62-64 и топлоустойчивост 250 - 300 °C, работят със скорости на рязане $v \geq 25 \text{ m/min}$. Използват се широко за изработване на зенкери, райбери, метчици, протяжки и др.

Бързорежещите стомани се характеризират със значително съдържание на волфрам и други легиращи елементи, които повишават топлоустойчивостта им средно до 600 °C. След термообработване твърдостта на инструментите достига HRC 62-64, скоростта на рязане се увеличава 2-3, а трайността 15-20 пъти по сравнение с легираните стомани. От бързорежещи стомани се изработват фрези, свредла, зенкери, райбери, метчици, плашки, профилни стругарски ножове, протяжки, зъбообработващи инструменти и др. Освен това от бързо-

режещи стомани се изработват пластини с различни форми и размери.

Металокерамични твърди сплави. Металокерамичните твърди сплави се състоят от карбиди на труднотопими метали (волфрам, титан и тантал), равномерно разпределени в кобалтова свързка. Изработват се по методите на праховата металургия чрез пресоване и спичане на прахообразна смес. Те са значително по-скъпи от бързорежещите стомани.

Металокерамичните твърди сплави се характеризират с топлоустойчивост 800 - 900 °C, твърдост HRA 87-92 и износоустойчивост при големи температури. Това дава възможност на инструментите, изработени от тези сплави, да работят при големи скорости на рязане - 5 до 10 пъти по-големи в сравнение с бързорежещите стомани. Напоследък това са най-разпространените инструментални материали.

В зависимост от състава си металокерамичните твърди сплави се делят на три групи:

- волфрамови (еднокарбидни);
- титан-волфрамови (двукарбидни);
- титан-тантал-волфрамови (трикарбидни).

Волфрамовите (еднокарбидни) твърди сплави се означават с буквите BK (волфрам-кобалт) и число, показващо процентното съдържание на кобалта (например, BK6, BK8, BK10). Останалото до 100 % е съдържанието на волфрамов карбид. Сплавите от тази група са жилави и имат голяма износоустойчивост при обработване на крехки материали - чугуни и пластмаси.

Твърдите сплави от *титан-волфрамовата* група се означават с буквите T и K и числа след всяка буква. Числото след буквата T означава съдържанието на титанов карбид в проценти, а числото след буквата K - съдържанието на кобалт в проценти (например T15K6, T30K4). Останалото до 100 % е волфрамов карбид. Титан-волфрамовите сплави се характеризират с по-малка якост на огъване, но с голяма износоустойчивост при обработване на жилави материали. Използват се за обработване на стомани.

Титан-тантал-волфрамовите (трикарбидните) твърди сплави се състоят от зърна на карбиди на титан, тантал и волфрам и от кобалтова свързка. Означават с буквите TT и K и числа след тях. Числото след буквите TT означава съдържанието на титанов и танталов карбид в проценти, а числото след буквата K - съдържанието на кобалт в проценти (например, TT7K12, TT20K9). Останалото до 100 % е волфрамов карбид. Тези сплави се характеризират с голяма якост на огъване, което позволява да се използват за инструменти, работещи с ударни натоварвания, при обработване на стоманени отливки и изковки.

Твърдите сплави се произвеждат главно във вид на пластини с различна форма и размери. От тях чрез механично закрепване или запояване се изработва широка гама инструменти - стругарски ножове, фрези, свредла, зенкери и др. Произвеждат се и монолитни твърдосплавни инструменти с малки размери - свредла, фрези и др.

В зависимост от предназначението си металокерамичните твърди сплави се разделят на три групи (ISO и БДС 16773-8), които се означават с буквите

P, *K* и *M* и се оцветяват с различен цвят - син, червен и жълт, съответно.

Твърдите сплави съдържат голям процент дефицитен и скъп метал - волфрам. Поради това са създадени безволфрамови твърди сплави, в които волфрамът е заменен с молибден, никел и др. метали. Безволфрамовите твърди сплави имат по-голяма твърдост и износоустойчивост от волфрамовите, но са по-крехки. Това дава възможност на инструментите от тези сплави да работят с 2 - 2,5 пъти по-големи скорости на рязане, но само при чисто и получисто обработване. Използват се за обработване на феросплави, никел, мед и мелхиор (алпака).

За да се увеличи износоустойчивостта на твърдите сплави, по режещата част на инструмента (пластината) може да се нанесе много тънък слой (5 - 8 μm) покритие от титанови карбиди или титанови нитриди. Трайността на твърдосплавните инструменти при нанасяне на покритие се увеличава 1,5... 5 пъти. Особено ефективно е нанасянето на покрития върху сменни твърдосплавни пластини. В означението на твърдите сплави при нанасяне на покритие се добавя буквата *C*.

Минералокерамични материали. Минералокерамичните материали се получават от прахове на синтетичен корунд (Al_2O_3) и около 1 % магнезиев оксид (MgO) чрез пресоване и изпичане. Изходните материали за производството им са многократно по-евтини от тези за металокерамичните твърди сплави. Минералокерамичните материали имат добра якост на нагиск, голяма твърдост (*HRA* 89-95), топлоустойчивост (до 1200°C) и износоустойчивост. Това дава възможност на инструментите от тези материали да работят с много големи скорости на рязане.

Тези материали обаче са много крехки и силно чувствителни към циклични температурни промени. Затова режещите инструменти от минералокерамични материали могат да се използват предимно за чисто обработване при постоянно натоварване и отсъствие на вибрации.

Минералокерамичните материали се произвеждат във вид на сменни пластини, подобно на металокерамичните.

Свърхтвърди материали. Групата на свърхтвърдите материали включва: диамант, синтетичен диамант, кубичен боров нитрид и композит.

Диамантът е една от модификациите на въглерода с кубична кристална решетка. Има най-голяма твърдост от известните естествени и изкуствени материали, топлоустойчив е (до 750°C), химически слабо активен, с малък коефициент на триене и малка склонност към адхезия. Дребнозърнестият му кристален строеж позволява да се получат инструменти с остър режещ ръб. С една дума - диамантът щеше да бъде идеалният материал за режещи инструменти, ако не беше много крехък (якост на огъване едва 30 MPa) и много скъп.

За режещи инструменти се използват прозрачни диамантени кристали без пукнатини и други дефекти, видими при десетократно увеличение. Например, за изработване на стругарски ножове се използват диаманти с маса 0,30-0,85 карата, понякога и по-големи (един карат е равен на 0,2 g).

Диамантените инструменти се използват за чисто и фино обработване на цветни метали и сплави и неметални материали. Диамантът обаче е химически

активен към материалите, съдържащи въглерод в свободна форма. Поради това диамантените инструменти не се използват за обработване на стомани и чугуни, тъй като в този случай имат малка износоустойчивост.

Около 90 % от цялото количество добивани естествени диаманти се използва за промишлени нужди и, в частност, за режещи инструменти. Но природата доста скъпо "продава" диамантите - за да се добие един карат естествени диаманти, се преработва от 5 до 25 тона порода (земна или скална маса). Затова учените векове наред са се опитвали да получат диаманти по изкуствен начин. Едва през 1939 г. съветският учен О.И.Лейпунски открива диаграмата за фазовото състояние на въглерода при различни условия. На основата на това откритие през 1955 г. в лабораторията на "Дженерал електрик къмпани" (САЩ) създават първите синтетични (изкуствени) диаманти. Напоследък количеството на произвежданите синтетични диаманти (стотици милиони карата) е по-голямо от добиваните естествени и те широко се използват за изработване на режещи инструменти.

На основата на прах от синтетични диаманти при високи налягания и температури се получава нов свърхтвърд материал - поликристален диамант (ПКД) - във вид на неправилни сфери с диаметър 4 - 6 *mm* и маса 0,4 - 0,7 карата. От тях се изработват стругарски ножове за обработване на цветни метали и сплави, титанови сплави, твърди сплави, полуизпечена керамика, стъклопласти и др.

От прах на боров нитрид се синтезира друг материал, който има голямо значение за съвременната обработваща промишленост - *кубичен боров нитрид* (наричан още елбор, хексанит и др.). По редица свои качества кубичният боров нитрид превъзхожда диаманта - той е материал с твърдост, малко по-малка от твърдостта на диаманта, с три пъти по-малка топлопроводност, но с много по-голяма топлоустойчивост ($1200 - 1300^\circ\text{C}$). Освен това е химически инертен към въглерода. По тази причина износоустойчивостта на кубичният боров нитрид при обработване на стомани и чугуни е значително по-голяма от тази на диаманта.

От кубичен боров нитрид се произвеждат поликристали с размери до 5 - 6 *mm*, наричани *комполит*. Инструментите от композит се използват за обработване на стомани, чугуни, труднотопими и труднообработваеми сплави.

Абразивни материали. Абразивните материали се използват във вид на абразивни зърна (прахове). Абразивните зърна трябва да имат голяма твърдост и топлоустойчивост и да се чупят при затпяване, за да се образуват нови режещи ръбове. Размерите на абразивните зърна са в границите от 2000 до 1 μm : от 2000 до 160 μm - шлифовъчни зърна; от 120 до 30 μm - шлифовъчни прахове, под 28 μm - микропрахове и субмикропрахове.

Като абразивни материали се използват естествени и изкуствени минерали. Към естествените материали се отнасят кварцът (основна съставка SiO_2), корундът (основна съставка Al_2O_3), шмиргелът и диамантът. От тях се използва предимно диамантът. Останалите материали съдържат голямо количество примеси, които влошават качеството им.

Изкуствените материали имат по-еднороден състав и по-добри режещи свойства. Към тях се отнасят електрокорундът, силициевият карбид (карборунд),

борният карбид, кубичният боров нитрид и синтетичният диамант.

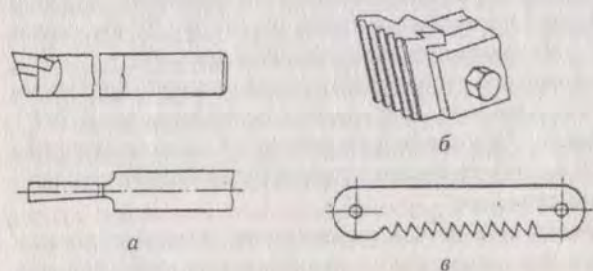
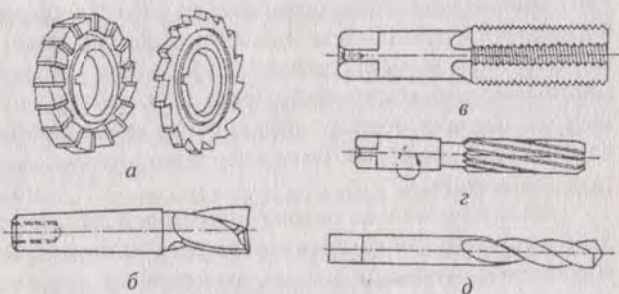
Синтетичните диаманти се използват за обработване на твърди сплави, твърди минерали, цветни метали и сплави, кубичният боров нитрид - за обработване на черни метали.

3.2. Общи сведения за режещите инструменти

Всеки режещ инструмент се състои от три основни части - тяло, режеща част и присъединителна част. Формата и конструкцията на режещия инструмент зависят предимно от вида на главното движение на рязане и от кой елемент се извършва това движение - от инструмента или от заготовката.

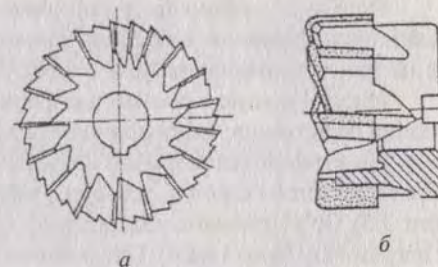
Когато главното движение на рязане е въртливо и се извършва от инструмента, той има *ротационна* форма. Тъй като така се реализират повечето от методите на обработване, режещите инструменти в по-голямата си част имат ротационна форма - свредла, зенкери, райбери, фрези, метчици, шлифовъчни дискове (фиг.3.1). В останалите случаи формата на инструмента е произволна, обикновено призматична. Такава е формата на инструментите за струговане, стъргане, дълбане и протегляне (фиг.3.2). Разбира се, тези инструменти също могат да имат ротационна форма, ако това е необходимо от други съображения.

Фиг. 3.1. Инструменти с ротационна форма



Фиг.3.2. Инструменти с неротационна (призматична) форма

Върху тялото на инструмента се изработват или закрепват режещата и присъединителната части. Режещата част може да се състои от един елемент, както при стругарските ножове, или от множество отделни елементи, наричани зъби - фрези, зенкери, райбери, свредла, протяжки и др.

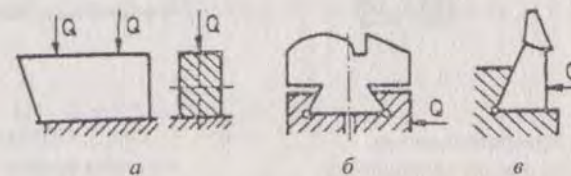


Фиг. 3.3. Зъби на режещите инструменти

Режещите зъби са три вида:

- изработени върху тялото (фиг.3.3а). В този случай цялото тяло е изработено от инструментален материал;
 - запоеени или заварени пластини от инструментален материал (бързорезеща стомана, металокерамика, свръхтвърди материали) (фиг.3.3б);
 - механично закрепени пластини от инструментален материал (бързорезеща стомана, металокерамика или минералокерамика) (фиг.3.3в).
- В последните два случая тялото се изработва от конструкционна стомана. Присъединителната част е предназначена за ориентиране и закрепване на режещите инструменти към изпълнителните органи на машината.

Инструментите с призматична форма - ножове с общо предназначение, профилни ножове, плоски протяжки и др., се ориентират и закрепват обикновено по равнинни повърхнини. Присъединителната част в този случай е призматична с напречно сечение във формата на правоъгълник (или квадрат), клин, лястовича опашка (фиг. 3.4). Закрепването се извършва с винтове или клинове. Силата на закрепване Q трябва да бъде насочена към ориентиращата повърхнина, която отнема три степени на свобода на инструмента. Големината на силата на закрепване трябва да бъде така подбрана, че силите на рязане да не могат да изместят инструмента.



Фиг. 3.4. Ориентиране на инструменти с призматична форма

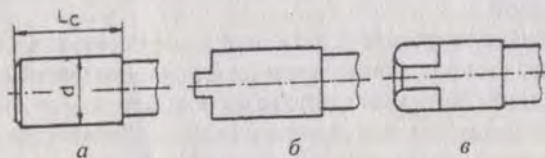
Ножовите с общо предназначение обикновено се ориентират по една равнинна повърхнина (фиг. 3.4а), по-сложните инструменти - по комбинация от две или три повърхнини (фиг. 3.4б,в).

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

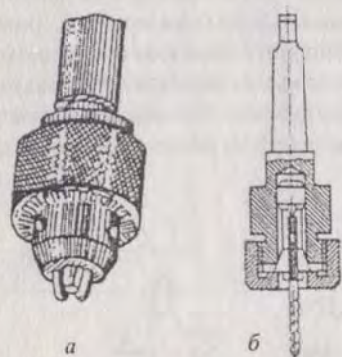
По външна цилиндрична повърхнина (опашка) обикновено се ориентират и закрепват свредла, зенкери, райбери, метчици, фрези с малки размери (фиг. 3.5). Ориентирането и закрепването се извършва в различни видове втулки и патронници (фиг. 3.6а,б). Предаването на въртящия момент от вретеното на машината към инструмента се извършва за сметка на силите на триене. Ето защо силата на закрепване F трябва да съответства на предавания момент на рязане M_p (фиг. 3.7):

$$F \cdot f \cdot \frac{D}{2} = k \cdot M_p, \quad (3.1)$$

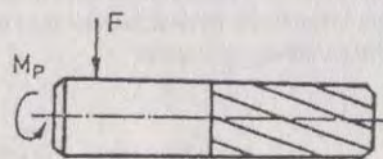
където D е диаметърът на опашката; k - коефициент на запас; f - коефициент на триене.



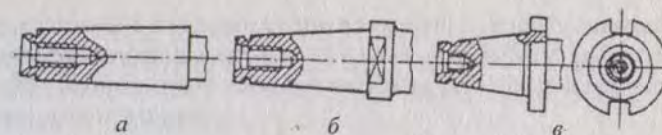
Фиг. 3.5. Ориентиране по външна цилиндрична повърхнина



Фиг. 3.6. Приспособления за установяване по външна цилиндрична повърхнина



Фиг. 3.7. Предаване на въртящия момент по външна цилиндрична повърхнина



Фиг. 3.8. Ориентиране по външна конусна повърхнина

За предаване на по-големи въртящи моменти на края на опашката се оформя издатък (фиг. 3.5б) или квадрат (фиг. 3.5в).

По вътрешна цилиндрична повърхнина обикновено се ориентират някои видове фрези. Инструментът се ориентира и закрепва по отношение на дорника и по двете си чела с помощта на втулки и гайки.

При ориентирането по външна конусна повърхнина присъединителната част на инструмента се изработва във вид на конусна опашка. Ъгълът α на конуса (фиг. 3.8) е малък, около 3° . Това, от една страна, осигурява по-точно ориентиране (центроване) на инструмента, а от друга - създава възможност за предаване на въртящия момент чрез силите на триене между конусната повърхнина на опашката и вътрешната конусна повърхнина на приспособлението - вретено или конусна втулка. Силите на триене се създават от осовата сила на рязане F_x (фиг. 3.9). Моментът от силите на триене $M_{тр}$ трябва да бъде по-голям от момента на рязане M :

$$M_{тр} \geq M_p = k \cdot M_p \quad (3.2)$$

Силата на триене T се определя чрез разлагане на осовата сила F_x на нормална сила N и радиална сила F_r :

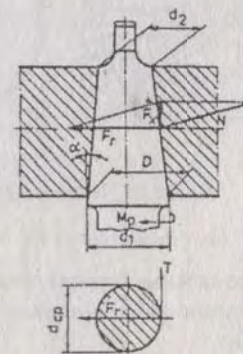
$$N = \frac{F_x}{\sin(\alpha)} \quad (3.3)$$

$$T = f \cdot N. \quad (3.4)$$

Моментът на триене е функция на силата на триене T и средния диаметър d_{cp}

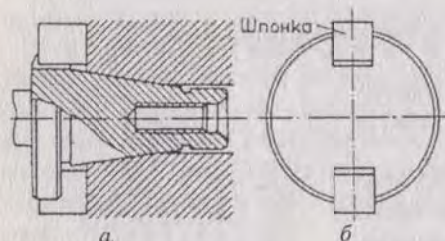
$$M_{тр} = T \cdot \frac{d_{cp}}{2} = \frac{f \cdot F_x \cdot d_{cp}}{2 \cdot \sin(\alpha)}, \quad (3.5)$$

където $d_{cp} = 0,5(d_1 + d_2)$.



Фиг. 3.9. Предаване на въртящия момент по външна конусна повърхнина

За конусни опашки на инструментите се използват два вида конуси: морзови и метрични. Метричните конуси са с по-големи размери от морзовите и се използват за инструменти, работещи при по-големи натоварвания.



Фиг. 3.10. Челни шпонки

За предаване на много големи въртящи моменти се предвиждат два радиални канала за челни шпонки (фиг. 3.10) или конусната част се скосява. В тези случаи ъгълът на конусност се приема по-голям, тъй като не е нужно да се създават големи сили на триене за предаване на въртящия момент.

Такива присъединителни елементи се прилагат за челни фрези и за опашкови фрези с по-голям диаметър.

Вътрешните конусни повърхнини имат предимствата на външните конусни повърхнини, но се изработват по-трудно. Използват се в случаите, когато ориентирането на инструмента трябва да се извърши по вътрешна повърхнина с висока точност, например, при зенкери и райбери с големи размери

Зъби на режещите инструменти. Зъбите на режещите инструменти са разположени по челото или периферията на инструмента (вж. фиг. 3.3). Между всеки два зъба се оформя вдлъбнатина, която се нарича *стружков канал*. Инструментът се характеризира с броя z на зъбите и тяхното разположение, а самите зъби - с формата си в напречно и надлъжно сечение и с размерите си. Стружковите канали също така се характеризират с формата и размерите си.

По предназначение зъбите се подразделят на режещи и калибровачни. Режещите зъби свалят основната част от прибавката за обработване, калибровачните - прибавката за окончателно обработване.

Зъбите на инструментите в напречно сечение са оформени от двете повърхнини: предна 1 и задна 2 (фиг. 3.11а). Тези повърхнини оформят и напречното сечение на стружковите канали. Предната повърхнина на зъбите за повечето инструменти от технологични съображения е равнина или дъга от окръжност.

Задната повърхнина на зъбите в зависимост от условията на работа на инструмента има различна форма в напречно сечение - парабола, две прави линии, оформящи трапецовиден зъб (фиг. 3.11а), права линия, оформяща триъгълен зъб (фиг. 3.11б), дъга от окръжност (фиг. 3.11в) или комбинация от прави линии

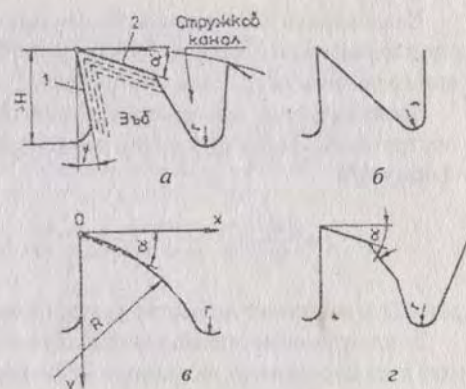
(фиг. 3.11г).

Разгледаните форми на зъбите в напречно сечение се характеризират с това, че заточването им се извършва по задната и по предната повърхнини. Наричат се островърхи или острозаточени зъби.

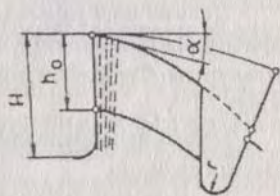
При презаточване по задната повърхнина на зъбите се намалява височината на зъба, следователно, и диаметърът на инструмента. При профилните инструменти заточването по задната повърхнина е сложно, а понякога и невъзможно. Затова при тези инструменти обикновено се използват затиловани зъби (фиг. 3.12). Затилованите зъби се получават чрез струговане на специални затиловащи стругове със сложна кинематика. Тези зъби се презаточват само по предната повърхнина, при това профилът на зъба и височината му h_0 се запазват.

Стружковите канали се оформят от предната и задната повърхнини на два съседни зъба и преходна част. Обикновено преходната част е дъга от окръжност.

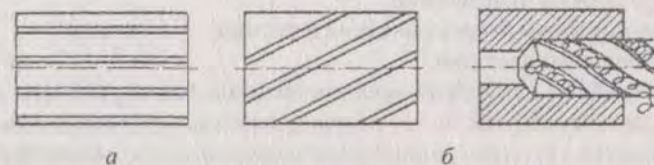
В надлъжно сечение зъбите (каналите) на инструментите са праволинейни и наклонени (винтови). *Праволинейните* канали (фиг. 3.13а) се изработват полесно, но при рязане зъбите влизат и излизат от работа едновременно по цялата си дължина, предизвиквайки ударни натоварвания. Освен това стружката не се отвежда от режещата част, а се натрупва или завива в плоска спирала в канала.



Фиг. 3.11. Острозаточени зъби



Фиг. 3.12. Затиловани зъби



Фиг. 3.13. Направление на зъбите

Наклонените зъби се връзват и излизат от работа плавно, стружката се отвежда в желаната посока (фиг. 3.13б). Недостатък на тези зъби е появата на осови сили в някои конструкции инструменти.

Броят на зъбите z на инструмента се определя от стъпката P и размерите на инструмента. За инструменти с ротационно главно движение z се определя по формулата

$$z = \frac{\pi \cdot D}{P}, \quad (3.6)$$

където D е външният диаметър на инструмента.

За инструменти с праволинейно главно движение (протяжки и отрязващи ленти) z се определя от дължината на режещата част l_p

$$z = \frac{l_p}{P}. \quad (3.7)$$

Конструктивни особености на режещите инструменти. По конструкция режещите инструменти се подразделят на цели, съставни и сглобяеми.

Целите инструменти са изработени от един материал. Заготовките за изработването им се получават чрез валцоване или по методите на праховата металургия. Срещат се и инструменти, получени чрез леене, но сравнително рядко.

Целите валцовани инструменти се изработват от инструментални и бързо-режещи стомани.

По методите на праховата металургия (синтероване) се получават инструменти от металокерамика - пластини или цели инструменти със сравнително малки размери (свредла, райбери, фрези, профилни ножове).

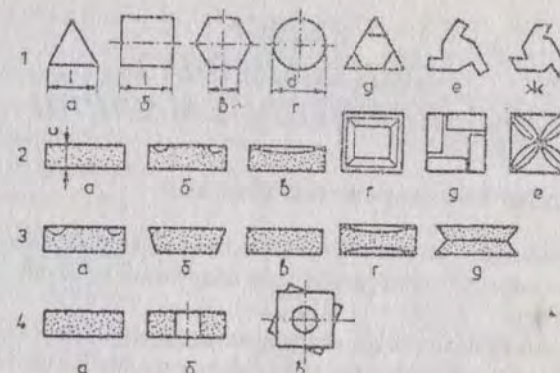
Съставните инструменти се изработват от различни материали: режещата част от инструментален материал, тялото - от конструкционна стомана. Двете части на инструмента се съединяват в едно цяло чрез заваряване или запояване. Изработването на съставни инструменти дава възможност да се използва по-рационално скъпият инструментален материал.

Сглобяемите инструменти се състоят от отделни елементи, съединени механично. При необходимост те могат да се разглобяват. Сглобяемите инструменти са три вида:

- с презаточваеми пластини;
- с многоръбови непрезаточваеми пластини;
- с ротационни пластини.

Многоръбови непрезаточваеми пластини. Многоръбовите непрезаточваеми пластини се изработват от твърди сплави и минералокерамика. Произвеждат се пластини с голямо разнообразие на формата и размерите (фиг. 3.14). Класификацията на пластините се извършва по следните признаци:

1. По формата на челото - тристенни (триъгълни), четиристенни (квад-



Фиг. 3.14. Многоръбови непрезаточваеми пластини

ратни, ромбовидни), многостенни (многоъгълни), кръгли и специални.

2. По формата на предната повърхнина - плоски (2а), с канали (2б) и със сферична повърхнина (2в). Каналите по предната повърхнина се оформят различно (2г, д, е).

3. По броя на работните и ориентиращите повърхнини - едностранни (3а, б) и двустранни (3в, г, д). При едностранните пластини едната повърхнина е базираща, другата - работна. При двустранните пластини всяка от повърхнините се използва за базираща и за работна. По този начин за двустранните пластини се осигуряват два пъти повече режещи ръбове, отколкото за едностранните. Използват се основно едностранни пластини, по-рядко - двустранни с плоска предна повърхнина.

4. По начина на базиране и закрепване - по базиране по равнина без отвор (4а), с базиране по равнина с отвор (4б), с базиране по дълъг отвор (4в).

5. По точността на изработване пластините са два вида - с шлифувана базираща повърхнина и с шлифувани всички повърхнини. Освен това пластините се изработват с различна степен на точност на размерите и формата.

6. По размерите на пластините.

Глава 4 ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА МЕТАЛОРЕЖЕЩИТЕ МАШИНИ

4.1. Видове металорежещи машини

Металорежещите машини са технологични системи, предназначени за обработване на заготовки чрез рязане с цел получаване на детайли със зададена форма и качество.

Историческо развитие на металорежещите машини. Още в древността хората са използвали различни приспособления за обработване на материали, предимно за пробиване на отвори.

През 19 в. се оформя почти цялата гама от различни видове металорежещи машини - стругови, стъргателни, дълбачни, пробивни, фрезови, шлифовъчни. По това време задвижването на всички машини в цеха е от един двигател (парна машина, газов двигател). Изобретяването през 1889 г. на променливотоковия електродвигател създава предпоставки за индивидуално задвижване на металорежещите машини.

През 20 в. се увеличава гамата от видове металорежещи машини (например, зъбообработващи, протеглящи и др.), усъвършенства се кинематиката, увеличава се стабилността на конструкцията, развиват се системите за управление и т.н.

През 1959 г. е създадена първата металорежеща машина с цифрово програмно управление, а през 70-те години развитието на електрониката създава условия за управление на повече машини и системи от един компютър.

В България производството на металорежещи машини започва през тридесетте години на 20 в., произвеждат се стругови, пробивни и напречно-стъргателни машини. В края на 50-те години това производство се развива с бързи темпове, като става един от основните отрасли на машиностроителната промишленост на страната. Създаденото по-късно Държавно стопанско обединение (ДСО) "ЗММ" обединява повече от 30 завода за металорежещи, металообработващи, дървообработващи и други машини. Нашата страна беше и една от първите европейски страни, която започна производство на машини с кинематично, а по-късно и с цифрово програмно управление. В средата на 80-те години бяха създадени и внедрени първите гъвкави автоматизирани производствени системи (ГАПС) в ЗММ - София, "Берое" - Ст. Загора, ДЗУ - Ст. Загора, "Арсенал" - Казанлък и др.

На фиг.4.1 са показани някои типични представители на произвежданите у нас металорежещи машини.

Класификация на металорежещите машини. Металорежещите машини се класифицират по няколко класификационни признака.

1. По вида на главното движение:

- с въртливо главно движение;

- с постъпателно главно движение.

2. По основния процес на рязане, реализиран върху машината. Този признак дава и основното наименование на машините - стругови, пробивни, фрезови, стъргателни, дълбачни, шлифовъчни и др.

3. По степента на специализация:

- универсални - с големи технологични възможности, предназначени за обработване на широка номенклатура детайли;

- специализирани - за обработване на отделни повърхнини, например, резби, зъбни профили и др;

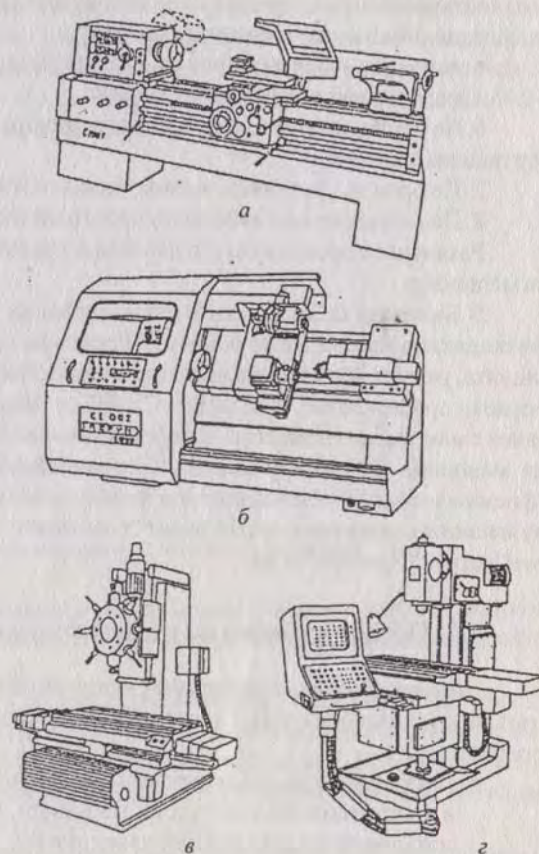
- пециални - за обработване на еднакви по форма и размери детайли.

Този класификационен признак също се отразява в наименованието на машините, например универсален струг, универсална фреза, зъбофрезова машина, резбопротегляща машина и др.

4. По точността на машината (5 класа) - с нормална, повишена, висока, особено висока и свръхвисока точност.

5. По степента на автоматизация:

- с ръчно управление - всички действия по управлението на машината се извършват ръчно;



Фиг. 4.1. Металорежещи машини, произвеждани в Република България
а - универсален струг С11МТ; б - струг с кинематично програмно управление СЕ062 "Перун"; в - вертикално-пробивна машина РВ с револверна глава и ЦПУ;
г - фрезова машина с ЦПУ

- полуавтомати - ръчно се установява и сваля заготовката, работният цикъл се изпълнява автоматично;
 - автомати - всички действия, включително установяването и свалянето на заготовката, са автоматизирани.
6. По разположението на вретеното в пространството - с хоризонтално или вертикално вретено.
7. По броя на вретената - едновретенни и многовретенни.
8. По габаритите на работното пространство и т.н.
- Различните производители използват различни системи за обозначаване на машините.

В България се използва буквено-цифрова система, отразяваща класификацията на машините по основния процес на рязане, степента на специализацията, разположението на вретеното в пространството и габаритите на работното пространство. Например, СУ401 се разшифрова като "струг универсален с максимален диаметър на обработваните детайли над направляващите на машината 400 mm, модел 1". Обозначението ФУ321 се разшифрова като "фрезова машина универсална с широчина на масата 320 mm, модел 1". На част от машините допълнително се дават "собствени" имена, например, струг "Перун", струг "Преслав" и др.

4.2. Общо устройство на металорежещите машини

Движения в металорежещите машини. В гл. 1 беше показано, че за да се извърши формообразуване, технологичната система трябва да включва три подсистеми:

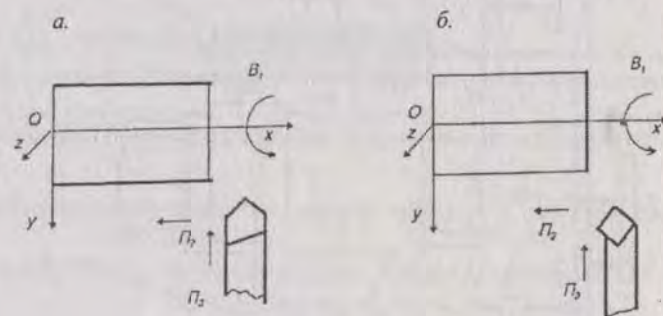
- *Подсистема за ориентиране на инструмента и обработвания детайл* в координатната система на машината, включваща съвкупността от изпълнителни повърхнини на машината.
- *Кинематична подсистема*, осигуряваща необходимите относително положение и относителни движения на инструмента и обработвания детайл.
- *Енергетична подсистема*, осигуряваща въвеждането на необходимата енергия в зоната на обработване.

Относителните движения, осигурявани от кинематичната подсистема са необходими за получаване на формата и размерите на обработваните повърхнини. Те се разделят на три вида: работни, установъчни и движения за обслужване.

Работни движения – главно и подавателно - са тези, които участват във формообразуването. Те са необходими за осъществяване на процеса на рязане и бяха разглеждани в гл. 2.

Установъчните движения определят взаимното разположение на инструмента и обработвания детайл и по този начин участват в получаването на размерите (вж. гл. 16). Те се изпълняват преди започване на процеса на рязане.

Много често, особено в универсалните машини, едно и също движение може да бъде подавателно или установъчно в зависимост от осъществяваната схема на рязане. Например, при надлъжно струговане (фиг. 4.2a) движението Π_2 е подавателно, а движението Π_3 - установъчно. При челно струговане (фиг. 4.2б) движението Π_3 е подавателно, а движението Π_2 - установъчно.



Фиг. 4.2. Подавателни и установъчни движения

Движенията за обслужване не са свързани с формо- и размерообразуването. Това са движенията за смяна на инструментите и обработваните детайли, управление на машината и др.

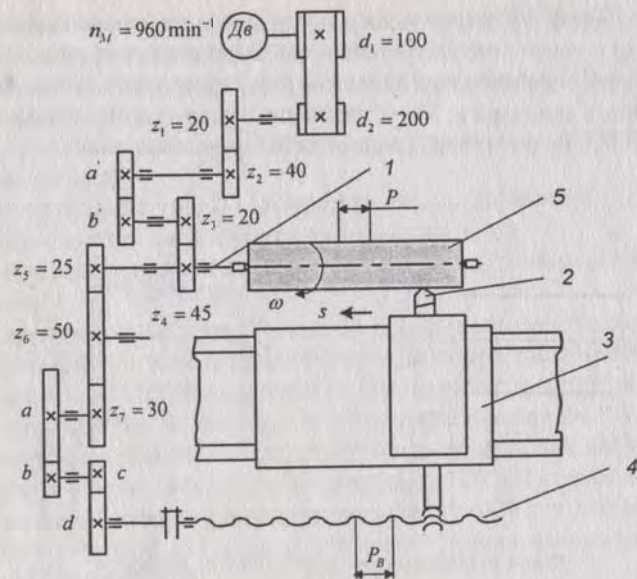
Кинематична схема. Под *кинематична верига* се разбира съвкупността от кинематични двойки, които свързват източника на движение с изпълнителния механизъм (или съединяват два изпълнителни механизма). Условното изобразяване в една равнина на съвкупността от кинематични вериги на металорежещата машина се нарича *кинематична схема*.

С *кинематичното настройване* се цели количествено да се определи изходящото за кинематичната верига движение (най-често скоростта му). Освен това за да се реализират сложни повърхнини, често се налага да се съгласуват движенията на изпълнителните органи. Методиката за настройване е еднаква за повечето металорежещи машини.

Като пример ще разгледаме кинематичната схема и настройването на универсален струг за нарязване на цилиндрична резба със стъпка P (фиг. 4.3). За тази цел са необходими две съгласувани движения – главно въртливо на обработвания детайл 5 и подавателно праволинейно на инструмента 2.

Главното движение от електродвигателя M към вретеното 1 се предава чрез ремъчната предавка d_1/d_2 , зъбната предавка z_1/z_2 , сменяемата зъбна предавка (лира) a'/b' и зъбната предавка z_3/z_4 .

От вретеното 1 чрез зъбната предавка z_5/z_6 , лирата $\frac{a}{b} \frac{c}{d}$ и водещия винт 4 движението се предава на супорта 3, извършващ заедно с инструмента 2



Фиг.4.3. Кинематична схема

праволинейно подавателно движение. Двете движения са съгласувани, тъй като източник за подавателното движение е вретеното.

Уравнението, свързващо параметрите на движение на началното и крайното звена на кинематичната верига, се нарича *уравнение на кинематичната верига*.

Уравнението на кинематичната верига на главното движение е следното:

$$n_M \frac{d_1}{d_2} \eta \frac{z_1 a' z_3}{z_2 b' z_4} = n_{BP}, \quad (4.1)$$

където n_M е честотата на въртене на електромотора, min^{-1} ; η - коефициент, отчитащ приплъзването в ремъчната предавка; n_{BP} - честотата на въртене на вретеното, min^{-1} .

Честотата на въртене на вретеното се изменя (настройва) чрез сменяемата зъбна предавка (лира) a'/b' . От уравнение (4.1) може да се определи необходимата стойност на предавателното отношение на лирата a'/b' , осигуряваща зададената честота на въртене на вретеното:

$$\frac{a'}{b'} = \frac{n_{BP} d_2 z_2 z_4}{n_M \eta d_1 z_1 z_3} \quad (4.2)$$

За един оборот на вретеното инструментът трябва да се премести на разстояние P . Уравнението на кинематичната верига на *подавателното движение* е следното:

$$\frac{a'}{b'} = \frac{n_{BP} d_2 z_2 z_4}{n_M \eta d_1 z_1 z_3} \quad (4.3)$$

където P_{BT} - стъпката на надлъжния винт, mm.

Надлъжното преместване на супорта се настройва чрез сменяемата зъбна предавка (лира) $\frac{a c}{b d}$. От уравнение (4.3) може да се определи необходимата стойност на предавателното отношение на лирата $\frac{a c}{b d}$, осигуряваща зададеното преместване P , mm, на супорта за един оборот на вретеното:

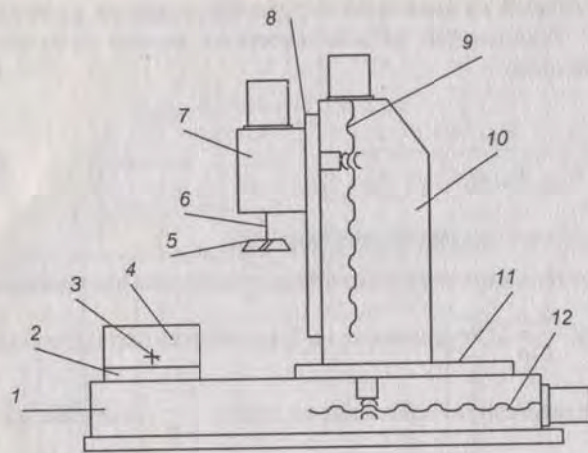
$$\frac{a c}{b d} = \frac{P z_7}{P_{BT} z_5} \quad (4.4)$$

Пример: Да се настрои стругът за нарязване на резба със стъпка $P = 6 \text{ mm}$ при $n_{BP} = 200 \text{ min}^{-1}$, $\eta = 0,985$ и $P_{BT} = 12 \text{ mm}$. От уравнения (4.2) и (4.4) определяме

$$\frac{a'}{b'} = \frac{200}{960 \cdot 0,985} \frac{200 \cdot 40 \cdot 45}{100 \cdot 20 \cdot 20} = 1,9035; \quad \frac{a c}{b d} = \frac{6 \cdot 30}{12 \cdot 25} = 0,6.$$

Основни възли. Конструктивно всяка металорежеща машина се състои от няколко основни възли и системи:

- носещата система;
- работни органи, съдържащи изпълнителните повърхнини, и механизми за тяхното задвижване;
- спомагателни органи и механизми за тяхното задвижване;
- система за управление;
- система за смазване;
- система за подаване на мажещо-охлаждаща течност в зоната на рязане и др.



Фиг.4.4. Основни възли на металорежеща машина

На фиг.4.4 е показана схема на основните възли на металорежеща машина. Главното движение е въртеливо и се извършва от инструмента 5, установен във вретеното 6. Обработваният детайл се установява върху масата 4. Подавателните и позициониращи движения са три: масата 4 чрез винта 3 се премества по направляващите 2 на тялото 1; стойката 10 чрез винта 12 се премества по направляващите 11 на тялото; супортът 7 чрез винта 9 се премества по направляващите 8 на стойката.

Носещата система се състои от корпусните детайли. Тя служи за ориентирание на останалите възли и системи един относно друг. Чрез нея се затваря силовата верига, възникваща между инструмента и обработвания детайл. Към носещата система се предявяват предимно изисквания за стабилност и вибрационност.

Основните елементи на носещата система на металорежещите машини са различните тела, стойки и др. Към тях са закрепени неподвижно или са вградени в кухините им различните механизми на машините. Освен това върху тях са изработени направляващи, по които се преместват работните органи на машината - супорти, маси и др.

Работните органи служат за установяване на обработваните детайли и режещите инструменти и за осигуряване на относителното им движение. Към работните органи се отнасят вретената, плъзгачите, супортите и масите.

Работният орган, осигуряващ въртеливо главно движение, се нарича *вретено*. В струговите машини към вретеното чрез различни приспособления се установява обработваният детайл, в другите машини с въртеливо главно движение към вретеното се закрепва инструментът.

Работният орган, осигуряващ праволинейно главно движение, се нарича *плъзгач*. Към него се закрепва режещия инструмент. Плъзгачите се използват

основно в стъргателните и дълбачните машини.

Работният орган, осигуряващ праволинейно движение на инструмента, се нарича *супорт*. Супортите се използват в струговите, зъбодълбачните, зъбофрезовите и други машини.

Масите са работни органи, към които се закрепват непосредствено или чрез приспособления обработваните детайли. За тази цел по изпълнителната им повърхнина са изработени Т-образни канали. Масите имат праволинейно или въртеливо движение.

Преводите са обособени части от кинематичната верига на металорежещата машина и представляват съвкупност от източника на енергия, предавателния механизъм до работния орган и системата за управление. Те трябва да осигурят възможност за изменение на скоростите на движение на работните органи в зададен диапазон. От технологични съображения е най-изгодно това изменение да бъде безстепенно.

Предавателните механизми се състоят от ремъчни, верижни, зъбни и червячни предавки, вариатори, кулисни механизми, съединители, сумиращи механизми, предавки винт-гайка и др.

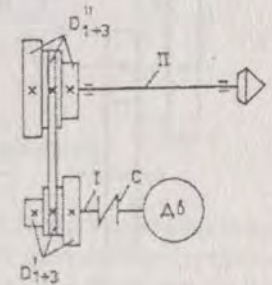
Механизмът за задвижване на работния орган, извършващ главното движение, се нарича *главен превод*, останалите - *подавателни преводи*.

Главен превод. Източниците на енергия в металорежещите машини са различни видове електродвигатели (асинхронни или постояннотокови), хидродвигатели и пневмодвигатели. Най-широко разпространение в преводите на металорежещите машини са получили асинхронните нерегулируеми двигатели като най-евтини. В такива случаи преводът е със степенно регулиране на скоростта на движение.

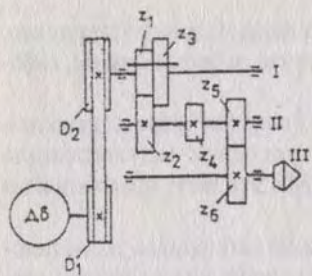
От технико-икономически съображения е необходимо относителната загуба на скорост при преминаване от една честота на въртене към съседна по-малка да бъде постоянна. С тази цел скоростите, съответно, честотите на въртене, се подреждат в геометрична прогресия с показател φ ($\varphi = 1.06; 1.12; 1.26; 1.41; 1.58; 1.78; 2.0$). Колкото по-малка е стойността на φ , толкова повече преводът със степенно регулиране се доближава по технологични характеристики до превода с безстепенно регулиране. При това обаче той става по-сложен и по-скъп.

Степенното изменение на скоростите се извършва чрез степенни ремъчни шайби, придвижващи се зъбни колела, сменяеми зъбни колела и др. На фиг.4.5 е показана кинематична схема на превод, при който честотата на въртене на вретеното се изменя чрез изместване на ремъка 2 по степенните ремъчни шайби 1 и 3.

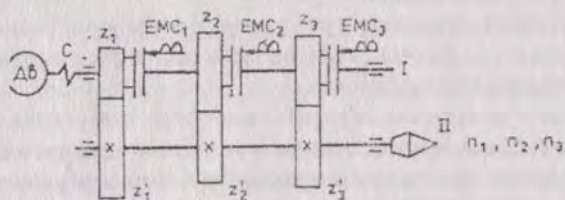
На фиг.4.6 е показана кинематична схема на превод, при който честотата



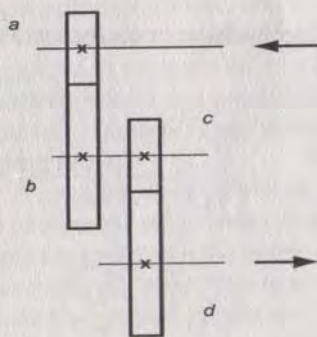
Фиг. 4.5. Главен превод със степенни ремъчни шайби



Фиг. 4.6. Главен превод с придвижващи се зъбни козела



Фиг. 4.7. Главен превод с електромагнитни



Фиг. 4.8. Лира

на въртене на вретеното се изменя чрез преместване на зъбния блок ($z_1 - z_3$), зацепващ се със зъбните козела z_2 или z_4 .

В механизма на фиг.4.7 зъбните козела z_1, z_3 и z_5 са установени свободно върху вала I и са постоянно зацепени със зъбните козела z_2, z_4 и z_6 , неподвижно свързани с вала II. Движението от вала I към вала 2 се предава при включване на който и да е от електромагнитните съединители EMC_2, EMC_1 или EMC_3 .

Механизмите със сменяеми зъбни козела се наричат лири. Чрез подбиране на различни комбинации на зъбните козела от комплекта на машината могат да се получат голям брой предавателни отношения. На фиг.4.8 е показана лира, съставена от 4 зъбни козела с брой на зъбите, съответно, a, b, c и d и която свързва изходящия вал I с входящия II. Основното конструктивно изискване в случая е постоянство на междуосовото разстояние a_w между двата вала I и II.

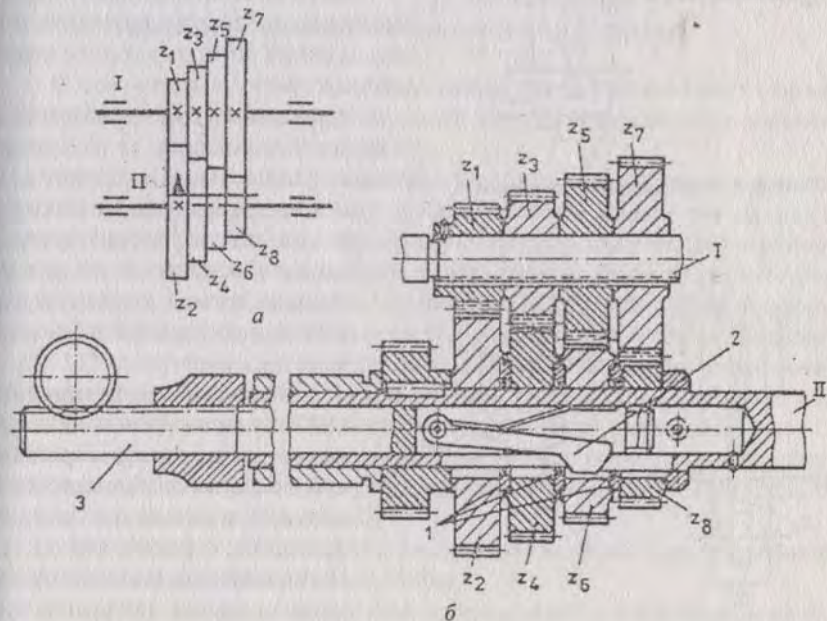
Подавателните преводи пренасят по-малки мощности и осигуряват по-малки скорости на движение. Те получават енергия от отделен електродвигател или от главното задвижване, например, от вретеното (вж.фиг.4.3). Крайно звено на подавателния превод най-често е двойка винт-гайка или зъбно колело-рейка.

Механизмите със сменяеми зъбни козела се наричат лири. Чрез подбиране на различни комбинации на зъбните козела от комплекта на машината могат да се получат голям брой предавателни отношения. На фиг.4.8 е показана лира,

съставена от 4 зъбни козела с брой на зъбите, съответно, a, b, c и d и която

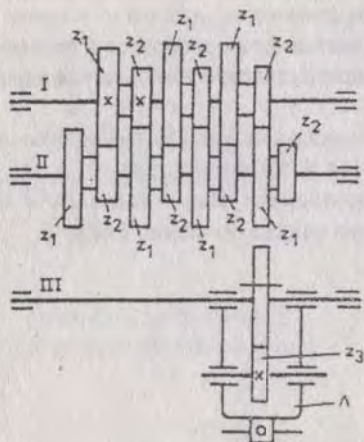
Като предавателни механизми в подавателните преводи се използват сменяеми зъбни козела (лири), механизъм с преместваща се шпонка, меандров механизъм и нортонов механизъм.

Механизъм с преместваща се шпонка е показан на фиг.4.9. Зъбните козела z_1, z_3, z_5 и z_7 са неподвижно свързани с вала I, зъбните козела z_2, z_4, z_6 и z_8 се въртят свободно върху вала II. Движението от вала I към вала II се предава чрез шпонката I, която се премества надлъжно заедно с оста 2.

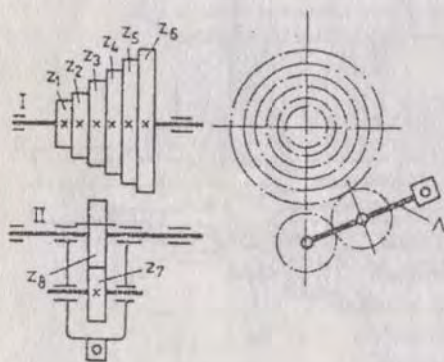


Фиг. 4.9. Механизъм с преместващи се шпонки

Меандровият механизъм (фиг. 4.10) е тривалов. Върху първите два вала са поставени няколко еднакви зъбни блока, съставени от едно голямо z_1 и едно по-малко z_2 зъбно колело. Само един зъбен блок е закрепен неподвижно върху вала I. Всичките останали 6 зъбни блока са свободно лагерувани върху валове I и II. Люлката L може да се движи осово по шлицевия вал III и зъбното колело z_3 може да се зацепва със зъбните козела z_1 или z_2 от зъбните блокове, които са разположени върху вала II. По този начин движението от вала I се предава на вала II като се реализират 6 предавателни отношения, подредени в геометрична прогресия.



Фиг. 4.10. Меандров механизъм



Фиг. 4.11. Нортон механизъм

Нортоновият механизъм (фиг.4.11) е двувалов. Върху вал I неподвижно са закрепени няколко зъбни колела (в случая z_1 до z_6), подредени по реда на нарастване на броя на зъбите. Върху вала II е монтирана люлката L с междинното зъбно колело z_7 . Зъбното колело z_8 предава въртеливото движение от зъбното колело z_7 към вала II.

Броят на зъбите на зъбните колела нараства в аритметична прогресия, като максималния брой на зъбните колела достига до 9-10.

Управлението и настройването на универсалните машини се извършва с бутони и ръкохватки. В серийното и масовото производство се използват полуавтомати и автомати, управлението на които се извършва с гърбици, копия, крайни изключватели и др. електрически и механични елементи.

Металорежещи машини с ЦПУ. За автоматизиране на единичното и дребносериеното производство се използват полуавтомати и автомати с цифрово програмно управление (ЦПУ). Принципната разлика на тези машини от другите полуавтомати и автомати се състои в това, че управлението се извършва от микропроцесор. Изпълнителните механизми са стъпкови електро-

двигатели, хидро- и пневмодвигатели и електромагнити.

Програмата се въвежда от перфолента, непосредствено от компютър или се набира от пулта за управление на машината.

За разработването на управляващата програма е необходимо предварително да се подготви технологична и геометрична информация.

Технологичната информация включва режимите на рязане, смяната на инструментите, включването и спирането на смазващо-охлаждащата течност и др.

Геометричната информация съдържа данните, необходими за описване

на траекторията на инструмента или инструментите.

Командите за движение определят преместванията на изпълнителните органи на машината и са свързани непосредствено с координатната система на машината. В машините с ЦПУ е приета дясноориентирана координатна система, оста Z на която задължително съвпада с оста на въртене на вретеното. За положителна посока на оста Z се приема посоката, при която инструментът се отдалечава от обработвания детайл. Осите X и Y се разполагат различно за различните машини. Когато машината има възможност да извършва повече движения, се въвеждат допълнителни координатни системи [20].

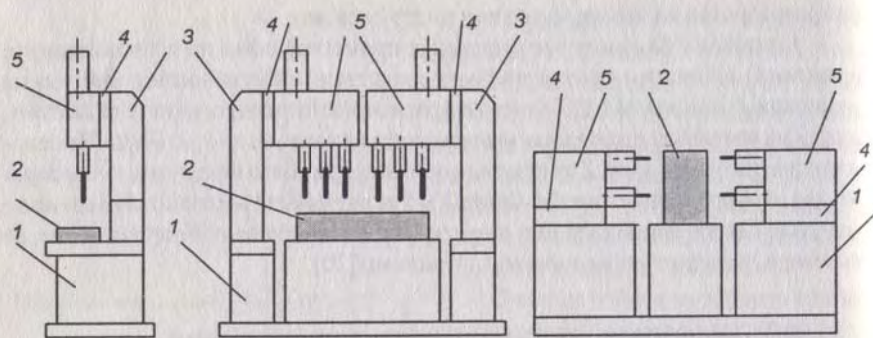
4.3. Агрегатни машини и автоматични линии

В масовото и едросериеното производство за увеличаване на производителността на обработване се използват агрегатни машини и автоматични линии.

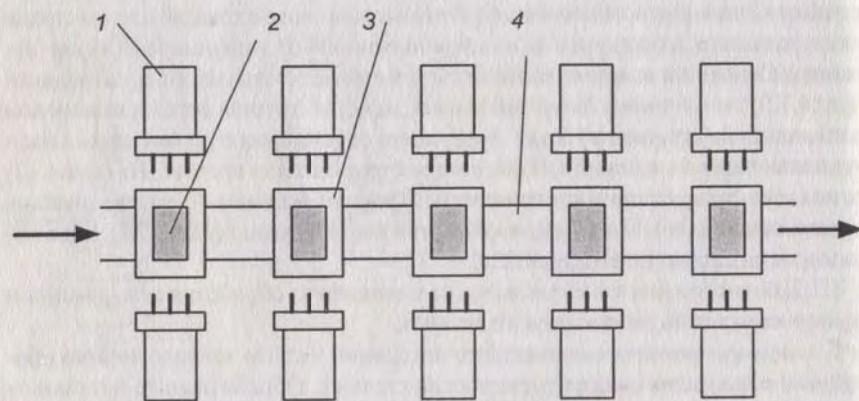
Агрегатните машини се отнасят към класа на специалните металорежещи машини, тъй като са предназначени за обработване на отделни повърхнини на един детайл или група близки по конструктивни признаци и габаритни размери детайли. Основната особеност на агрегатните машини е в това, че от една страна те са уникални, а от друга – са съставени основно от унифицирани възли (агрегати). Основните възли, от които се състои една агрегатна машина, са следните (фиг.4.12): тяло 1 с маса 2 за установяване на обработвания детайл; колони или допълнителни (странични) тела 3, върху което се установяват подавателните маси 4; силови глави 5 с едно или множество инструментални вретена. На (фиг.4.12) са показани три различни компоновки на агрегатни машини – с една вертикална силова глава (фиг.4.12а), с две вертикални силови глави (фиг.4.12б), с две хоризонтални силови глави (фиг.4.12в).

Най-често агрегатните машини се използват за обработване на равнинни повърхнини и отвори на корпусни детайли.

Автоматичните линии са поточни линии, в които технологичното оборудване е свързано с обща транспортна система. Обработваните детайли се установяват и свалят от машините и се транспортират от машина към машина автоматично (фиг.4.13). Автоматичните линии за обработване на корпусни детайли най-често се състоят от агрегатни машини, линиите за обработване на ротационни детайли – от автоматични стругови машини.



Фиг. 4.12. Агрегатни машини
1 – тяло; 2 – обработван детайл; 3 – колона;
4 – подавателна маса; 5 – силова глава



Фиг. 4.13. Автоматична линия
1 – технологично оборудване (например агрегатни машини);
2 – обработвани детайли;
3 – маси за установяване на обработваните детайли;
4 – транспортна система

Глава 5 СТРУГОВАНЕ

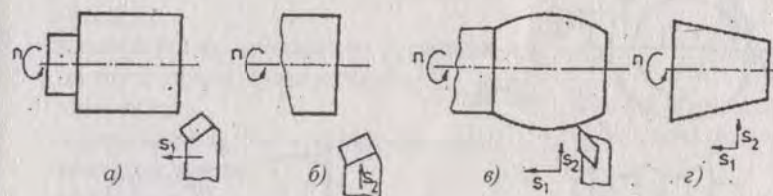
5.1. Кинематични схеми на обработване

Струговането е един от най-разпространените методи за механично обработване. При него главното движение е въртеливо и се извършва от обработвания детайл. Подаването се извършва от режещия инструмент - стругарския нож. В зависимост от направлението на подаване рязането се извършва по три кинематични схеми:

- с надлъжно подаване $s_{\text{ндл}}$;
- с напречно подаване $s_{\text{нпр}}$;
- с комбинирано подаване $(s_{\text{ндл}} + s_{\text{нпр}})$.

В зависимост от метода на формообразуване трите кинематични схеми дават възможност за получаване на различни повърхнини.

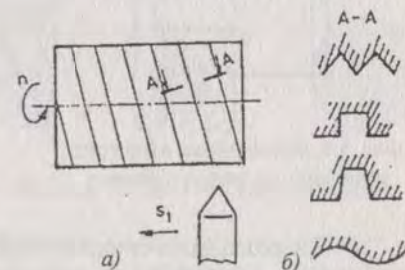
Когато формообразуването се извършва по метода на обхождането (формообразуващият елемент на инструмента е точка), при обработване с надлъжно подаване се получава цилиндрична повърхнина (фиг.5.1а), при обработване с напречно подаване - равнинна (челна) повърхнина (фиг.5.1б), при обработване с комбинирано подаване - ротационно-профилна повърхнина (фиг.5.1в,г), в частност, сферична или конусна повърхнина.



Фиг.5.1. Формообразуване чрез обхождане

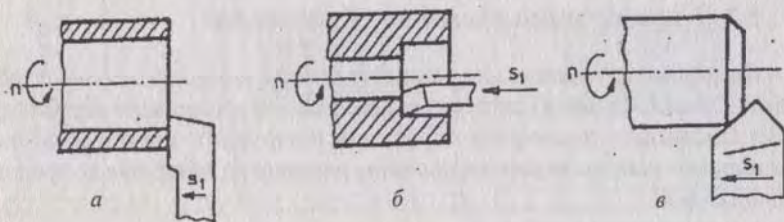
Когато формообразуването се извършва по метода на копирането (формообразуващият елемент на инструмента е линия), обикновено се получават сложни профилни повърхнини.

- При обработване с надлъжно подаване по този метод се получава профилна повърхнина, разположена по цилиндрична винтова линия (фиг.5.2а). Така се нарязват резби с различен



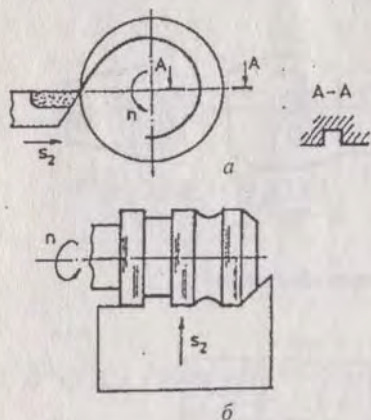
Фиг. 5.2. Формообразуване чрез копиране с надлъжно подаване

профил - триъгълен, правоъгълен, трапецовиден, полукръгъл и т.н (фиг.5.2б). В частен случай може да се получи челна или конусна повърхнина (фиг.5.3).

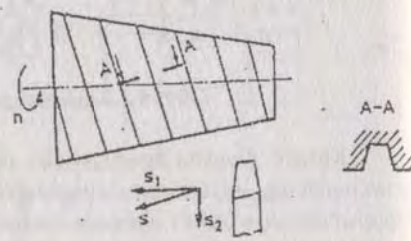


Фиг.5.3. Обработване на челни и конусни повърхнини с малка дължина

- При обработване с напречно подаване се получава профилна повърхнина, разположена по равнинна винтова линия (архимедова спирала) (фиг.5.4а) или ротационно-профилна повърхнина (фиг.5.4б). В частен случай може да се получи къса цилиндрична повърхнина.
- При обработване с комбинирано подаване се получава профилна повърхнина, разположена обикновено по конусна винтова линия (фиг.5.5). Така, например, се наричат конусни резби.



Фиг. 5.4. Формообразуване чрез копиране с напречно подаване



Фиг. 5.5. Формообразуване чрез копиране с комбинирано подаване

- При подходящо синхронизиране на честотата на въртене на обработвания детайл и подаването (надлъжно, напречно или комбинирано) в границите на един оборот на вретеното чрез струговане могат да се обработват сложни пространствени повърхнини.

Върху струговите машини, освен струговане, се извършват и други процеси на рязане - пробиване на отвори, зенкерование, райберование, нарязване на резби с метчик или плашка. Тези процеси са разгледани отделно в глави 6 и 12.

5.2. Режещи инструменти

Видове стругарски ножове. Стругарските ножове са инструменти, работещи с едно режещо острие (един зъб). Разделят се на ножове с общо предназначение и профилни ножове.

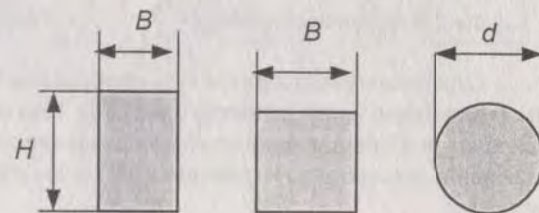
Стругарските ножове с общо предназначение са най-простите по конструкция и най-универсалните режещи инструменти. Използват се за обработване на най-различни повърхнини - цилиндрични, равнинни, конусни, ротационно-профилни, във всички типове производство - от единичното до масовото.

Тези ножове се класифицират по няколко признака, основните от които са следните:

- по формата на обработваната повърхнина и направлението на подаването - проходни, подрязващи, отрязващи, резбонарязващи;
- по вида на обработваната повърхнина (външна или вътрешна);
- по посоката на подаването - леви и десни (фиг.5.6);
- по формата на режещата част (главата) на ножа - прави, криви, огънати, изтеглени;
- по сечението на тялото - квадратни, правоъгълни, кръгли (фиг.5.7);
- по материала на режещата част;
- по конструкцията - цели, съставни (запоени или заварени), сглобяеми.



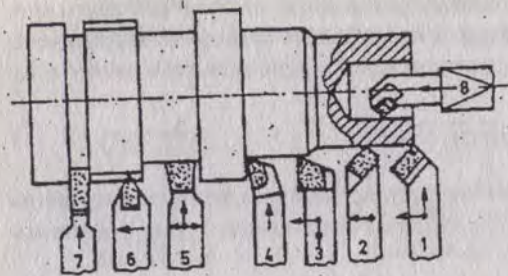
Фиг. 5.6. Леви и десни стругарски ножове



Фиг.5.7. Напречно сечение на тялото на ножове

На фиг.5.8 са показани различни видове ножове, различаващи се по формата и вида на обработваната повърхнина и по формата на режещата част: прав проходен 2, проходен с огъната глава 1 и 3, подрезан 4, лопаткообразен 5, резбонарезен 6, прорезан 7 и разстъргващ 8.

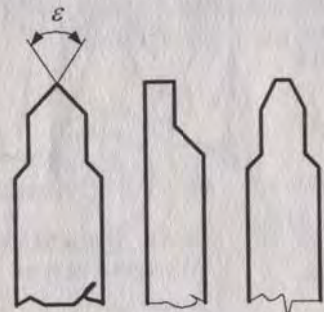
Проходните ножове се използват за обработване на външни ротационни



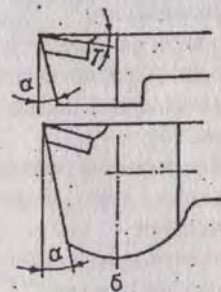
Фиг.5.8. Видове стругарски ножове

не - челни повърхнини. Проходните упорни ножове се характеризират с това, че главният им установъчен ъгъл $k_1 = 90^\circ$. Те се използват за обработване на цилиндрични или челни повърхнини.

Резбонарезните ножове се характеризират с формата на режещата си част, която зависи от профила на нарязваната резба - триъгълна, правоъгълна, трапецовидна, полукръгла, трионовидна (фиг.5.9).



Фиг.5.9. Резбонарезни ножове



Фиг.5.10. Отрязващи ножове

Отрязващите ножове служат за отрязване на заготовки от прътов материал със сравнително малък диаметър (фиг.5.10). Тези ножове работят в много тежки условия - режещата част на ножа е с малка широчина за да се реже с по-малка дълбочина, а дължината на режещата част е по-голяма от радиуса на отрязвания материал.

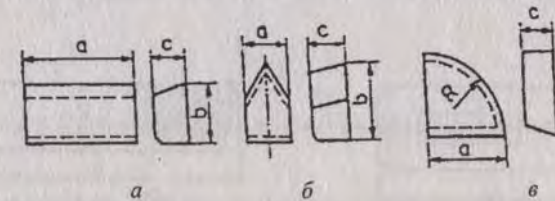
Прорязващите ножове служат за обработване на канали и имат широчина, равна или по-малка от широчината на обработвания канал. Формата на режещата част съответства на формата на канала.

За обработване на вътрешни повърхнини се използват разстъргващи ножове (позиция 8 на фиг.5.8). В зависимост от вида на обработваната повърхнина те могат да бъдат проходни, подрязващи, прорязващи, резбонарезни и др.

Използването на цели ножове е икономически неизгодно, защото само

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

една малка част от скъпия инструментален материал се използва непосредствено за рязане. Останалата по-голяма част служи за закрепване и след окончателното износване на ножа се претопява. Затова цели ножове се изработват много рядко основно от по-евтините въглеродни и легирани инструментални стомани. Ножовете от останалите материали - бързорежеща стомана, метало- и минералокерамика, свръхтвърди материали - се изработват съставни и сглобяеми. Режещата част представлява пластина (фиг.5.11), закрепена към главата на ножа.



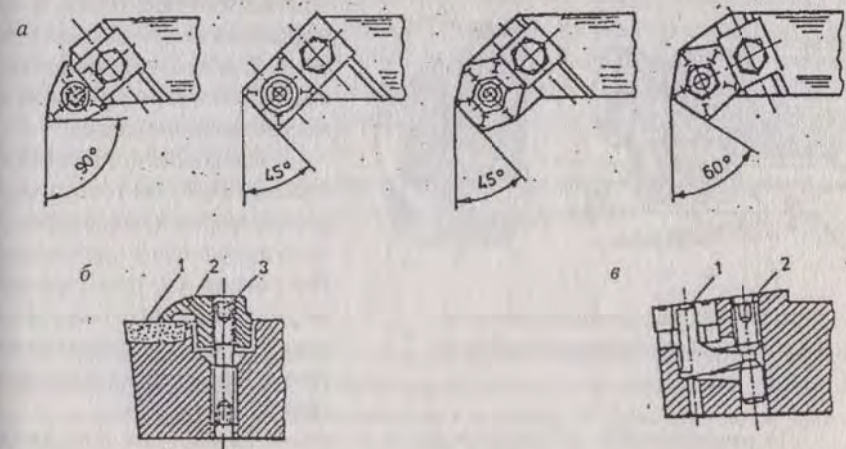
Фиг.5.11. Презаточваеми пластини за стругарски ножове

Съставните ножове са *презаточваеми* и *непрезаточваеми*. Закрепването на пластините се извършва чрез запояване, заваряване или механично.

Ножове с многогърбови непрезаточваеми пластини. За стругове със средни размери особено голямо разпространение са получили ножовете със сменни непрезаточваеми пластини от металокерамика и минералокерамика (фиг.5.12а).

Конструкцията, показана на фиг.5.12б, е на шведската фирма Sandvik Coromant. Пластината 1 се закрепва чрез планката 2 и винта 3.

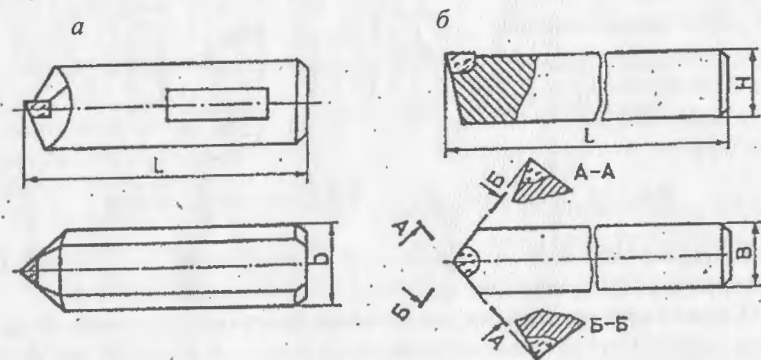
Закрепването на пластини с отвор (фиг.5.12в) се извършва с двуръменния лост 1 и винта 2. Тези пластини имат профилна предна повърхнина, облекчаваща стружкочупенето.



Фиг.5.12. Ножове с многогърбови непрезаточваеми пластини

Ножове с режеща част от свръхтвърди материали. За чисто и фино обработване се използват инструменти с режеща част от свръхтвърди материали - диамант, композит и карбонадо.

Режещата част се запоява в закрит (фиг.5.13а) или открит (фиг.5.13б) канал на стоманен държач. Първата конструкция осигурява по-добро закрепване на режещия елемент, но за презаточване този елемент трябва да се разпои, и след това отново да се запои. Затова по-голямо разпространение са намерили инструментите, в които режещата част е запоена в открит канал.

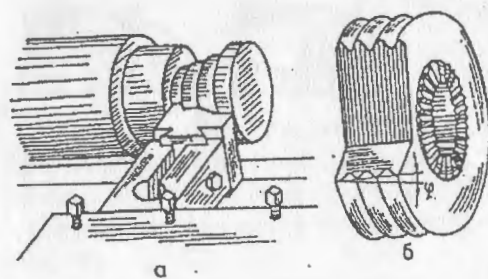


Фиг.5.13. Режеща част на стругарски нож от свръхтвърд материал

Профилни ножове. Профилните ножове се използват за обработване на сложни профилни повърхнини с малка дължина (обикновено до 80 mm). Те осигуряват голяма точност и малка грапавост на обработените повърхнини при висока производителност. Тези ножове допускат голям брой презаточвания, но са сложни и скъпи. Ето защо те се използват ефективно в едросерийното и масовото производство.

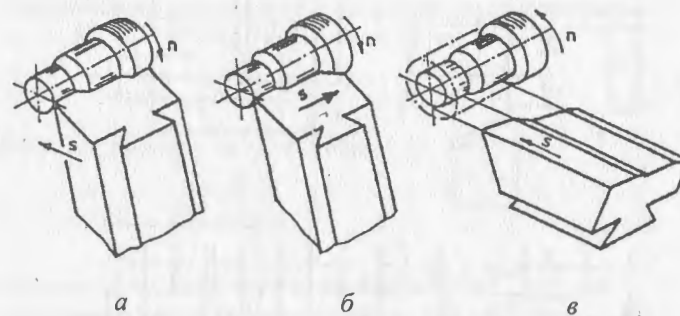
Профилните ножове се класифицират по геометричната си форма и направлението на подавателното движение. По общата си геометрична форма профилните ножове се делят на призматични (фиг.5.14а) и кръгли (дискосви) (фиг.5.14б).

По направлението на подавателното движение профилните ножове се делят на радиални (фиг.5.15а), осови (фиг.5.15б) и тангенциални (фиг.5.15в).



Фиг. 5.14. Видове профилни ножове в зависимост от геометричната им форма

По направлението на подавателното движение профилните ножове се делят на радиални (фиг.5.15а), осови (фиг.5.15б) и тангенциални (фиг.5.15в).



Фиг. 5.15. Видове профилни ножове в зависимост от подаването

Конструирането на профилни ножове се извършва по специална методика аналитично или геометрично.

5.3. Режим на рязане

Елементи на режима на рязане. Елементите на режима на рязане при струговане са:

- дълбочина на рязане t ;
- подаване за един оборот на обработвания детайл s ;
- скорост на рязане v .

Тези елементи се избират в последователност $t-s-v$.

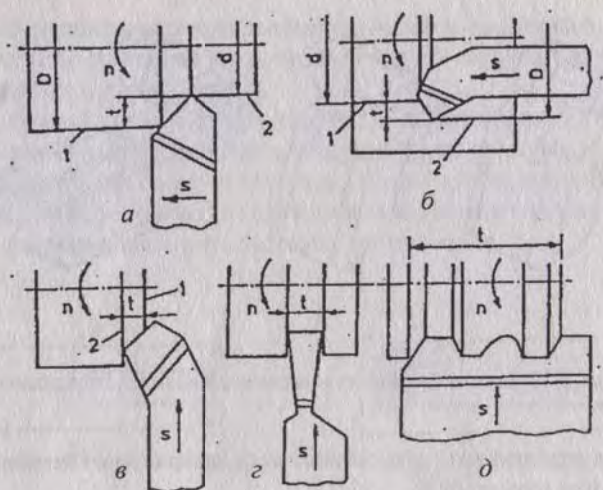
Дълбочината на рязане е перпендикулярна към направлението на подаването (фиг.5.16). При струговане на външни и вътрешни цилиндрични повърхнини и на челни повърхнини тя е равна на разстоянието между обработваната 1 и обработената 2 повърхнини (фиг.5.16а, б, в). При прорязване на канали и при отрязване дълбочината на рязане е равна на широчината на отрезния нож (фиг.5.16г). При струговане с профилен нож дълбочината на рязане е равна на дължината на проекцията на режещия ръб на ножа върху оста на въртене на обработвания детайл (фиг.5.16д).

При струговане на външни и вътрешни цилиндрични повърхнини дълбочината на рязане може да се определи по формулата:

$$t = \frac{D-d}{2}, \text{ mm.} \quad (5.1)$$

Дълбочината на рязане t при грубо обработване се избира равна на прибавката за обработване z . Когато прибавката е голяма и не може да се свали за един работен ход, обработването се извършва за i работни хода, така че $t \cdot i = z$.

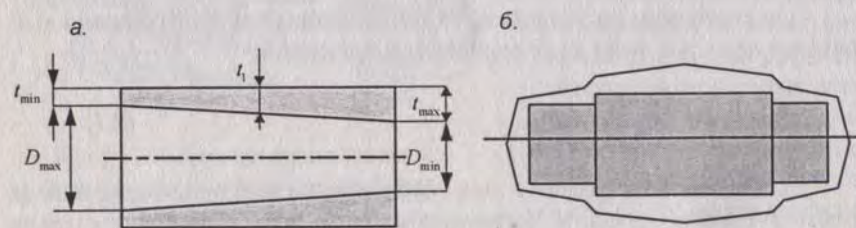
Чистото струговане се извършва за един работен ход и дълбочината на



Фиг.5.16. Дълбочина на рязане при струговане

рязане е равна на прибавката.

Прибавката z при грубо обработване, а следователно, и дълбочината на рязане t не винаги е постоянна. Тя се променя в зависимост от формата на обработваната и обработената повърхнини. Например, при струговане на конусна повърхнина при изходна (обработвана) цилиндрична повърхнина прибавката се увеличава или намалява непрекъснато. (фиг.5.17а). При струговане на цилиндрична повърхнина от заготовка, получена чрез коване, прибавката също така се изменя в широки граници (фиг.5.17б). В такива случаи при определяне на дълбочината на рязане се изхожда от най-голямата възможна прибавка. *Подаването* s представлява преместването на стругарския нож за едно пълно завъртане (един оборот) на вретеното и се измерва в $mm/об$. Използват се още минутно подаване и скорост на подавателното движение.



Фиг.5.17. Променлива прибавка за обработване

Подаването за една минута s_m се определя по формулата

$$s_m = s \cdot n, \text{ mm/min}, \quad (5.2)$$

а скоростта на подаването v_f по формулата

$$v_f = s_m \cdot 10^{-3}, \text{ m/min}, \quad (5.3)$$

където n е честотата на въртене на вретеното, min^{-1} .

Подаването при грубо струговане се избира възможно най-голямо, като се изхожда от мощността на технологичната система и якостта и стабилността на нейните елементи - стругарския нож, обработвания детайл, подавателния превод.

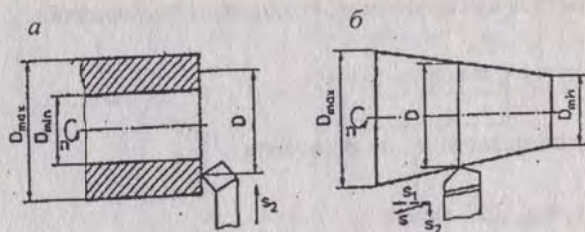
Подаването при чистото обработване се избира от условието за осигуряване на зададената грапавост на обработваната повърхнина. Зависимостта между подаването и височината на грапавините за различните условия на обработване е дадена в технологичните справочници.

Скоростта на рязане v_T , съответстваща на избрана трайност T на инструмента, се определя по формулата

$$v_T = \frac{C_v \cdot K_v}{T^m \cdot s^{x_v} \cdot t^{y_v}}. \quad (5.4)$$

Стойностите на константите C_v и K_v и степенните показатели m , x_v и y_v във формула (5.4) се избират от технологичните справочници в зависимост от условията на работа. Трайността T на стругарския нож се приема в границите, които се препоръчват в справочниците. Обикновено $T = 30 \dots 60 \text{ min}$, но може да се приемат и други стойности. Например, за стругове с ЦПУ може да се приеме $T = 15 \text{ min}$. Обърнете внимание на това, че T не се изчислява, а се приема, и чрез него се изчислява скоростта на рязане.

При струговане и разстъргване с надлъжно подаване скоростта на рязане е постоянна, а при струговане с напречно или комбинирано подаване тя се променя, тъй като диаметра D на обработваната повърхнина непрекъснато се променя от D_{min} до D_{max} (фиг.5.18а,б). За да се осигури постоянна скорост на рязане в тези случаи е необходимо честотата на въртене на вретеното n да се изменя обратно-пропорционално на изменението на диаметра D на обработваната повърхнина. Това се постига в машините с програмно управление, при които електродвигателят, задвижващ главния превод, е с регулируема честота на въртене.



Фиг. 5.18. Променлива скорост на рязане

При определянето на режимите на рязане, ако разликата $\Delta D = D_{\max} - D_{\min}$ не е голяма, скоростта се определя с D_{\max} , ако тази разлика е голяма - със средната стойност $D_{\text{cp}} = (D_{\max} + D_{\min})/2$.

Честотата на въртене на заготовката n се определя по формулата

$$n = \frac{10^3 \cdot v}{\pi \cdot D}, \text{ min}^{-1} \quad (5.5)$$

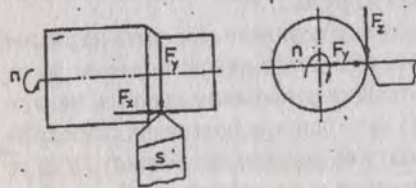
където D е най-големият диаметър на обработваната повърхнина.

Ако машината е със степенен главен превод, то от наличните честоти се избира честота n_m така, че да се спази условието

$$n_m \leq n \quad (5.6)$$

Ако е известна честотата на въртене на вретеното n , то скоростта на рязане v се определя по формулата

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \text{ m/min.} \quad (5.7)$$



Фиг. 5.19. Сили на рязане при струговане

Сили на рязане. При струговане силата на рязане F се разлага на три съставни F_x , F_y и F_z в декартовата координатна система $Oxyz$, в която оста x е противоположна на вектора на подаването s , оста z съвпада с вектора на главното движение v . Оста y е перпендикулярна на допирателната към обработваната повърхнина и е насочена от обработвания детайл към инструмента (фиг. 5.19).

Чрез статистическо моделиране са изведени емпирични формули за изчисляване на съставните на силите на рязане:

Чрез статистическо моделиране са изведени емпирични формули за изчисляване на съставните на силите на рязане:

$$F_x = C_{F_x} \cdot t^{x_{F_x}} \cdot s^{y_{F_x}} \cdot v^{n_{F_x}} \cdot K_{F_x} \cdot N; \quad (5.8)$$

$$F_y = C_{F_y} \cdot t^{x_{F_y}} \cdot s^{y_{F_y}} \cdot v^{n_{F_y}} \cdot K_{F_y} \cdot N; \quad (5.9)$$

$$F_z = C_{F_z} \cdot t^{x_{F_z}} \cdot s^{y_{F_z}} \cdot v^{n_{F_z}} \cdot K_{F_z} \cdot N; \quad (5.10)$$

където C_{F_x} , C_{F_y} , C_{F_z} са коефициенти, отчитащи влиянието на геометрията на инструмента и условията на рязане; K_{F_x} , K_{F_y} , K_{F_z} - коефициенти, отчитащи влиянието на обработвания материал, геометрията и състоянието на инструмента и мажещо-охлаждащата течност; x_{F_x} , x_{F_y} , x_{F_z} , y_{F_x} , y_{F_y} , y_{F_z} , n_{F_x} , n_{F_y} , n_{F_z} - степенни показатели.

Ефективната мощност при струговане P_p е сума от мощността P на главното движение и мощността P_f на подавателното движение

$$P_p = P + P_f, \text{ kW.} \quad (5.11)$$

Мощността на главното движение се определя от съставната F_z на силата на рязане и скоростта на рязане v

$$P = F_z \cdot v \cdot 10^{-3} \cdot 60^{-1}, \text{ kW.} \quad (5.12)$$

Мощността P_f на подавателното движение се определя чрез подавателната сила и скоростта на подаването v_f . Тъй като $v_f \ll v$ и $F_x < F_z$, то P_f е много по-малка от P и обикновено не се изчислява.

Изчисленията показват, че $P_f \approx 0.01P$. Тъй като коефициентът на полезно действие на подавателния превод е малък, обикновено се приема

$$P_f = 0.05P. \quad (5.13)$$

За да се извършва процесът на рязане, е необходимо да се изпълнява условието

$$P_p \leq P_M \eta, \quad (5.14)$$

където P_M е мощността на електродвигателя на машината; η - коефициентът на полезно действие на превода.

Ако това условие не е изпълнено, трябва да се измени режимът на рязане, например, да се избере по-малка скорост на рязане.

5.4. Видове стругови машини

Струговете са: универсални, резбонарезни, копирни, челни, каруселни, револверни, многоножови, едновретенни и многовретенни автомати и полу-автомати, надлъжно-профилни автомати и др.

5.4.1. Универсални стругове

Универсалните стругове имат широки технологични възможности и са предназначени за обработването на външни и вътрешни ротационни и челни повърхнини чрез струговане, както и за нарязване на резби, пробиване на отвори, зенкерване, райберване и др. При окомплектоване със специални приспособления върху тях може да се извършват и други процеси на рязане - фрезване, шлифоване, пробиване на радиални отвори и др. Използват се преди всичко в единичното, дребносерийното и ремонтното производство.

Основни технически параметри на универсалните стругове са височината на центрите над супорта и над направляващите, разстоянието между центрите, мощността на електродвигателя на главното задвижване.

Най-голямо разпространение от българските универсални стругове имат машините от серията С11. Произвеждат се няколко модела от тези стругове с малки различия в кинематиката и конструкцията - С11А, С11С, С11М, С11МВ и др.

На фиг.5.20 е показан общия вид на струг С11МВ.

Върху тялото 1 на струга е установено предното седло (главния превод) 3 с вретеното 4. Главният превод се задвижва от асинхронен електродвигател, намиращ се в тялото. Отпред на тялото се намира подавателният превод (подавателната кутия) 2. По направляващите на тялото се премества надлъжният супорт 10. Върху надлъжния супорт последователно един върху друг са установени напречният супорт 9, завъртащия се супорт 8, кръстатият супорт 7 и четирипозиционният ножодържач 6. Движението от подавателната кутия към надлъжния и напречния супорт при струговане се предава чрез ходовия вал 5, а при нарязване на резби със стругарски нож - чрез ходовия винт 11.

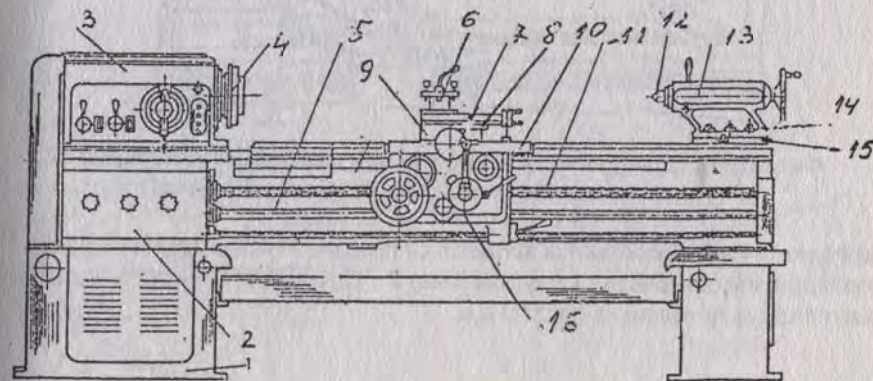
Върху направляващите на тялото е установено задното седло, състоящо се от основата 15, тялото 14 и пинолата 13. В отвора на пинолата се установява задния център 12 или размерни инструменти за обработване на отвори (свредла, зенкери, райбери, метчици, плашки).

Обработваните детайли се установяват в патронници, планшайби или между центри, а стругарските ножове - в четирипозиционния ножодържач 6.

Управлението на струга се извършва с бутони и ръкохватки, които на фигурата не са обозначени. Завъртащия се супорт, кръстатият супорт и ножодържачът се преместват само ръчно. Бързите установъчни премествания (бърз ход) на супортите се осъществяват чрез допълнителен електродвигател.

Тук няма да разглеждаме кинематичната схема на струга. Тя е подобна на схемата, разгледана в гл.4 (вж.фиг.4.3), но е много по-сложна. Главният превод

на струга осигурява на вретеното 18 оборотни степени, подредени в геометричен ред със степенен показател $j = 1,41$. Подавателният превод дава възможност за нарязване на милиметрова, модулна, цолова и диаметралпитчева резби.



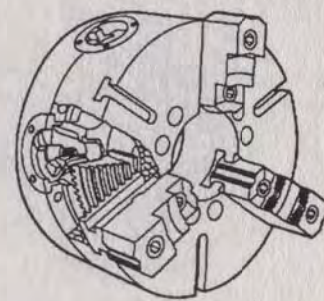
Фиг. 5.20. Общ вид на струг С11МВ

1 - тяло; 2 - подавателна кутия; 3 - предно седло; 4 - вретено; 5 - ходов вал; 6 - ножодържач; 7 - горен супорт; 8 - завъртащ се супорт; 9 - напречен супорт; 10 - надлъжен супорт; 11 - ходов винт; 12 - заден център; 13 - пинола; 14 - тяло на задното седло; 15 - основа на задното седло; 16 - супортна кутия

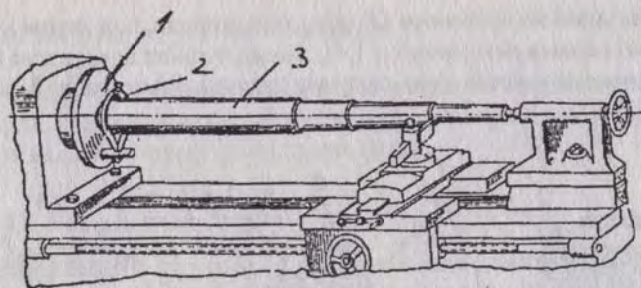
Приспособления за универсалните стругове. Универсалните стругове се комплектоват с три- и четиричелюстни самоцентроващи патронници, четиричелюстни планшайби, водещи шайби, хамутчета (сърца), предни и задни центри, люнети и др.

Тричелюстните самоцентроващи патронници служат за установяване на детайли с малка дължина. Трите челюсти на патронника се преместват едновременно от или към геометричната му ос (фиг.5.21). Тази ос съвпада с оста на въртене на вретеното. Челюстите се задвижват със специален ключ чрез челна спирала, клинове и др.

Детайли с голяма дължина се установяват между центри. Предният център се установява в отвора на вретеното и най-често е неподвижен (фиг.5.22). Задният център се установява в отвора на пинолата на задното седло и може да бъде неподвижен или подвижен (въртящ се) (фиг.5.23а). Въртящият момент от

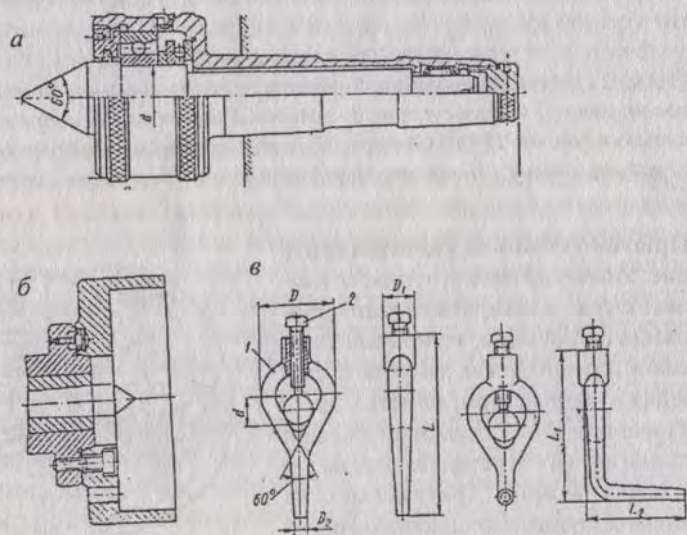


Фиг. 5.21. Тричелюстен патронник



Фиг. 5.22. Предаване на въртящия момент при установяване между центри
1 - водеща планшайба; 2 - хамутче; 3 - обработван детайл

вретеното към обработвания детайл 3 се предава от водещата планшайба 1 чрез приспособлението сърце (хамутче) 2. Планшайба и различни видове хамутчета са показани на фиг.5.23 б,в.

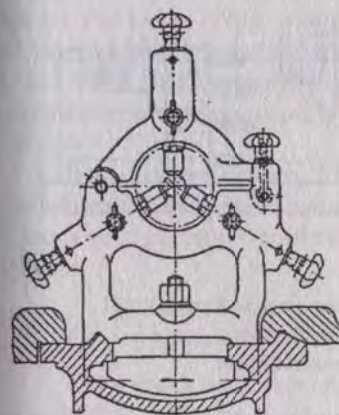


Фиг. 5.23. Приспособления

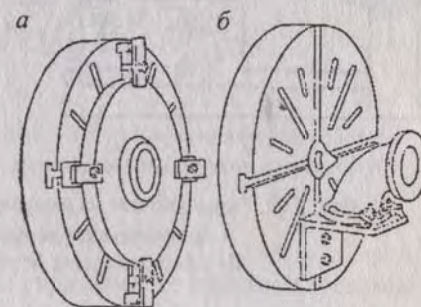
а - подвижен център; б - водеща планшайба; в - хамутче

При обработване на дълги нестабилни детайли за да се намалят еластичните им деформации се използват допълнителни опори – подвижни и неподвижни люнети (фиг.5.24).

За установяване на ротационно-несиметрични детайли се използват четиричелостни планшайби с независимо задвижвани челюсти (фиг.5.25).



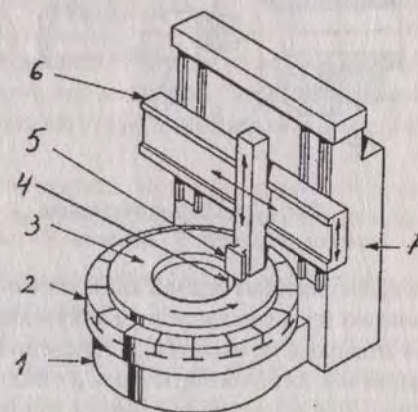
Фиг. 5.24. Люнет



Фиг. 5.25. Планшайба

5.4.2. Каруселни стругове

Каруселните стругове са с вертикално вретеното и се използват за обработване на детайли с големи диаметри и относително малка дължина. Върху тялото 1 на струга (фиг.5.26) е установена планшайбата 2, която получава въртене от вретеното. Обработваният детайл 3 се установява върху планшайбата. По направляващите на вертикалните колони 7 се премества хоризонталната греда 6, а по нея – супортът 5 с инструмента 4.

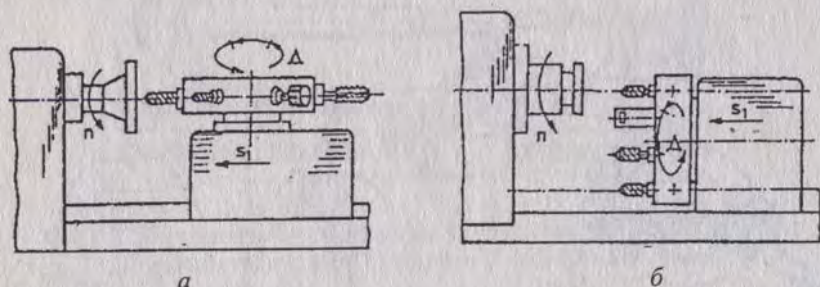


Фиг. 5.26. Каруселен струг

5.4.3. Револверни стругове

Тези стругове се използват в едросерийното и масовото производство. Върху надлъжния супорт на струга е разположена завъртаща се многопозиционна глава, наречена револверна. Режещите инструменти са установени в револверната глава чрез различни допълнителни държачи и приспособления. Според разположението на револверната глава тези стругове са два вида: с

вертикална ос на револверната глава (фиг.5.27а) и с хоризонтална ос на револверната глава (фиг.5.27б).

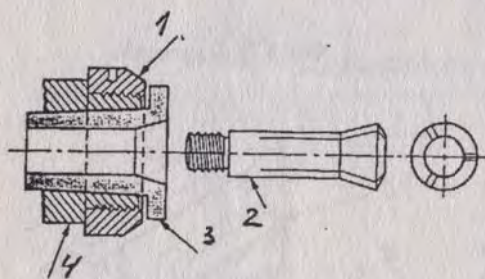


Фиг. 5.27. Разположение на револверната глава на револверен струг
а - с вертикална ос на револверната глава;
б - с хоризонтална ос на револверната глава

Обработваните детайли се установяват в патронници или цанги (фиг.5.28).

За изработване на детайли от прътов материал се използват револверни стругови автомати. Цикълът на работа на тези стругове е автоматизиран напълно – от подаването на прътовия материал на необходимата дължина до отрязването на готовия детайл.

Освен револверен супорт с



Фиг. 5.28. Цангов патронник
1 - гайка; 2 - цанга; 3 - вретено; 4 - тяло

револверна глава те имат един или повече напречни супорти, в които се установяват предимно ножове за струговане на канали и отрязване. Управлението се извършва от гърбици, установени върху два командни вала – надлъжен и напречен. За всеки обработван детайл се проектират и изработват отделни гърбици. Ето защо тези автомати се използват в едросерийното и масовото производство.

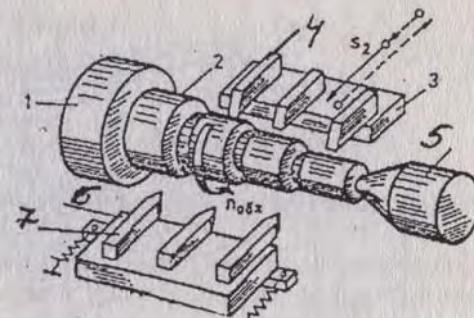
5.4.4. Многоножови полуавтомати

Многоножовите полуавтомати се използват в едросерийното и масовото производство за обработване на детайли, установявани в патронник или между центри. Принципа на работата на такъв струг е показана на фиг.5.29.

Обработваният детайл 2 е установен в патронника 1 и задния център 5.

Върху надлъжния супорт 6 са закрепени няколко ножа 7 (в случая – 3 броя), настроени за обработване на различните стъпала на детайла. Стругването на всички цилиндрични повърхнини се извършва едновременно за едно движение на надлъжния супорт.

В напречния супорт 3 са установени един или няколко ножа 4 за струговане на чела и канали.



Фиг. 5.29. Принципа на работата на многоножов стругов полуавтомат

5.4.5. Стругове с цифрово програмно управление

Струговете с цифрово програмно управление се използват предимно в единичното и дребносерийно производство за обработване на детайли със сложна конфигурация и високи изисквания за точност.

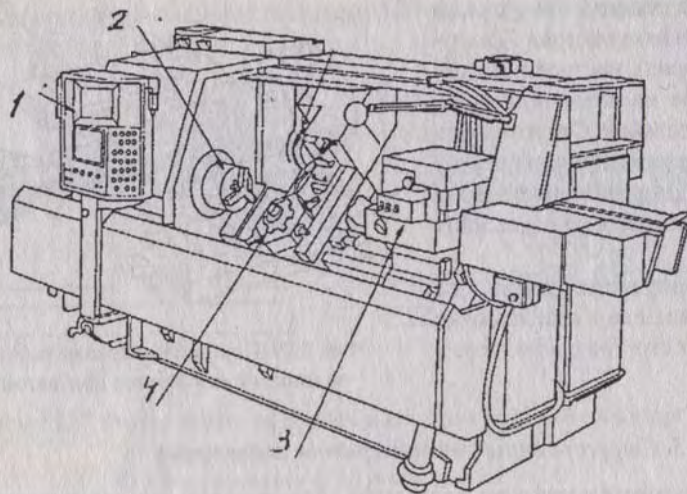
Задвижването на вретеното при тези стругове се извършва от електродвигател с безстепенно регулиране на честотата на въртене. Въртенето от електродвигателя се предава непосредствено на вретеното или преминава през една-две междинни зъбни двойки.

Задвижването на надлъжното и напречното подаване се извършва от отделни стъпкови двигатели през сачмено-винтови двойки. Синхронизирането на честотата на въртене на вретеното и скоростта на подавателните движения се извършва по програмен път.

Високата степен на автоматизация на процеса позволява при обработване на детайли върху стругове с ЦПУ да се осигурят високо качество и производителност.

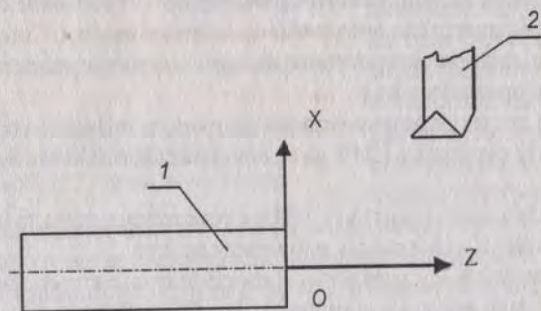
На фиг.5.30 е показан струг с ЦПУ с револверна глава за обработване на детайли, установени в патронник или между центри.

Програмирането се извършва в координатна система, оста Z на която съвпада с оста на въртене на вретеното (фиг.5.31). За положителна посока на оста Z е приета посоката, при която инструментът се отдалечава от обработвания детайл. Оста X се разполага в равнината на преместване на супорта. Положителната посока на оста X е свързана с разположението на нождържача или револверната глава. Стремещт е при програмирането по-рядко да се използват отрицателни координати по тази ос. Затова за положителна се приема посоката от оста на вретеното към нождържача. Координатната система е заложена от конструктора на машината и не може да се променя.



Фиг. 5.30. Струг с ЦПУ

1 - пулт на системата за ЦПУ; 2 - вретено; 3 - задно седло;
4 - супорт с револверна глава



Фиг. 5.31. Координатна система на струг с ЦПУ
1 - вретено; 2 - инструмент

Глава 6 ОБРАБОТВАНЕ НА ОТВОРИ

6.1. Кинематични схеми на обработване

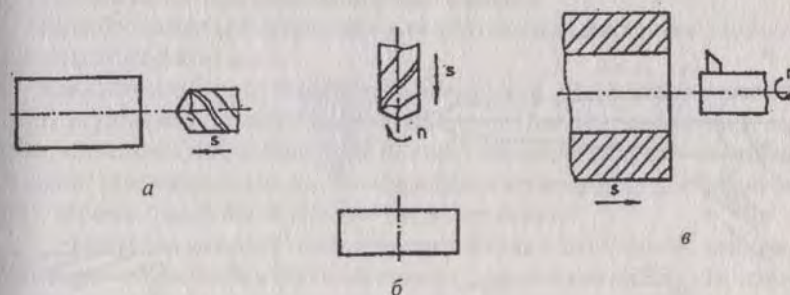
Обработването на отвори се извършва с различни методи и на различни машини:

- чрез свредловане, разсвредловане, зенкерование и райберование върху пробивни, радиално-пробивни, пробивно-разстъргващи, стругови и фрезови машини;
- чрез разстъргване върху радиално-пробивни, пробивно-разстъргващи и стругови машини;
- чрез протегляне върху протеглящи машини;
- чрез контурно фрезование върху пробивно-разстъргващи машини с ЦПУ.

Обработването на отвори чрез протегляне и контурно фрезование ще разгледаме в следващите глави.

Свредловането, разсвредловането, зенкерването, райберването и разстъргването се извършват чрез комбиниране на две движения - едно въртливо и едно постъпателно. При това въртелното движение е главно, постъпателното - подавателно. Инструментите за обработване на отвори се наричат свредла, зенкери, райбери, боршанги.

При обработване на отвори върху стругови машини главното движение се извършва от заготовката, подавателното - от инструмента (фиг.6.1а). При обработване на отвори върху пробивни, радиално-пробивни, пробивно-разстъргващи и фрезови машини главното движение се извършва от инструмента, подавателното - от инструмента (фиг.6.1б) или заготовката (фиг.6.1в).



Фиг.6.1. Кинематични схеми на обработване на отвори

6.2. Режещи инструменти

6.2.1. Свредла

Свредлата са предназначени за обработване на отвори в плътен материал или за разширяване на предварително пробити отвори. Голямото многообразие от свредла, произвеждани и използвани в производството, се класифицират по следните признаци: предназначение, конструкцията на работната част, дължина на работната част, конструкция на опашката, твърдост на обработвания материал, точност на изработване.

По предназначение свредлата се разделят на цилиндрични, конусни и комбинирани (стъпални).

По конструкцията на работната част свредлата са перести, винтови (спирални) и за пробиване на дълбоки отвори.

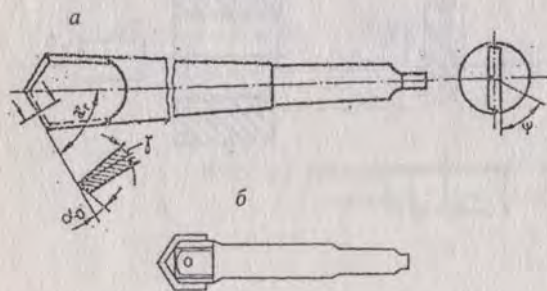
Според дължината на работната си част свредлата са къси, нормални, дълги и свръхдълги, а според конструкцията на опашката - с цилиндрична опашка, с цилиндрична опашка с водач, с конусна опашка.

Свредлата се изработват от легирана инструментална стомана, от бързо-режеща стомана и от твърди сплави.

Най-стара и най-проста е конструкцията на перестите свредла (фиг.6.2). Те имат плоска и сравнително къса работна част. Използват се рядко, главно за свредловане на много твърди материали и на стъпални отвори.

Цилиндрични винтови свредла. Тези свредла се използват най-често в промишлеността (фиг.6.3а). Служат за пробиване и разпробиване на отвори с диаметър до 80 mm и осигуряват точност на обработване по 12...13 степен и грапавост $R_a = 5...10 \mu m$. За обработване на стъпални отвори се използват стъпални свредла (фиг.6.3б).

Винтовите свредла се състоят от следните основни части:



Фиг. 6.2. Пересто свредло
а - от бързорежеща стомана;
б - с твърдосплавна пластинка

- режеща;
- калибровача (направляваща);
- съединителна;
- опашка.

Режещата и калибровачата части образуват работната част на свредлото. Работната част има два винтови стружкови канала, образувачи два винтови режещи зъба (пера). Рязането се осъществява от два главни, два калибровачи и един напречен режещ ръб.

Главните режещи ръбове представляват два зъба, които в процеса на обработване се връзват в материала на заготовката и го отделят във вид на стружка. Те са наклонени в основната равнина P_r спрямо оста на свредлото под установения ъгъл k и образуват ъгъл при върха $2k$. Тези режещи ръбове обикновено са праволинейни.

Напречният режещ ръб се получава при заточването на режещата част по задните повърхнини. Той има отрицателни предни ъгли по цялата си дължина, поради което не реже, а мачка материала. Това води до появата на големи сили, особено осови.

Двата главни режещи ръба се съединяват със сърцевина, големината на която определя здравината на свредлото, дължината на напречния режещ ръб и големината на стружковото пространство.

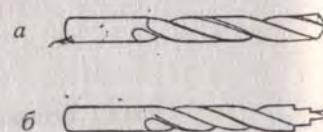
Калибровачата част е необходима за направляване на свредлото в процеса на работа и осигуряване на точността на обработване на отвора. В напречно сечение формата на калибровачата част е подобна на формата на режещата.

Режещите зъби имат цилиндрична калибровача лентичка с широчина f и височина h , извън границите на лентичката диаметърът на зъба е по-малък. Свредлата с диаметър под 0,5 mm се изработват без калибровача лентичка. За намаляване на триенето на калибровачите лентички по стените на отвора калибровачата част се изработва с малка конусност по външния диаметър - 0,03...0,1 mm на 100 mm, намаляваща към опашката.

Калибровачите режещи ръбове са винтови и са наклонени спрямо оста на свредлото под ъгъл $\omega = \lambda$.

Каналите и зъбите се изработват винтови за по-лесно отвеждане на стружката и осигуряване на предните ъгли на свредлото. Наклонът на винтовите канали трябва да съпада с направлението на главното движение на рязане - въртеливото. Нормално този наклон е десен. Леви свредла се произвеждат за стругови автомати с обратна (лява) посока на въртене на вретеното.

Опашката на цилиндричните винтови свредла е цилиндрична или конусна. С цилиндрична опашка се изработват свредла с диаметър от 0,25 до 30 милиметра, с конусна - от 6 до 80 милиметра. При конусната опашка въртящият момент се предава за сметка на триенето между конусните повърхнини на опашката и отвора във вретеното на машината. Конусната опашка завършва с лапка, служеща само за избиване на свредлото от конусния отвор. Шийката съединява работната част и опашката на свредлото и се изработва само при свредла с диаметър



Фиг. 6.3. Винтово свредло

над 6 mm.

Общата дължина на свредлото има голямо значение за неговата устойчивост в процеса на рязане. С увеличаване на дължината, особено на частта, излизаща извън приспособлението за закрепване на инструмента, устойчивостта, а оттам и трайността, намаляват. Това изисква за различни условия на работа да се използват свредла с различна дължина и различни режими на рязане.

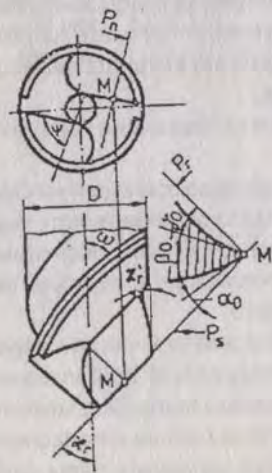
Основните геометрични параметри на цилиндричните винтови свредла са (фиг.6.4):

- главният заден ъгъл α_0 ;
- главният установъчен ъгъл k_r ;
- ъгълът на наклона на напречния режещ ръб ψ ;
- ъгълът на наклона на винтовия стружков канал ω

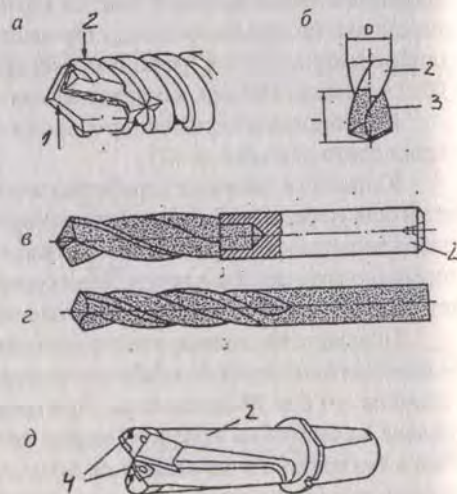
Предният ъгъл и ъгълът на наклона на винтовия стружков канал се получават при изработване на свредлото, а останалите - при заточването му.

Винтовите свредла се изработват от бързорежеща стомана P18, P12, P9, P6M3, P9K5, легирана стомана 9ХС и др. материали. Свредлата с диаметър над 6 mm се изработват съставни – режещата част от инструментален материал, а опашката - от конструкционна стомана, съединени чрез челно заваряване.

За обработване на отвори в чугуни, много твърди стомани и неметални материали се използват **твърдосплавни винтови свредла**. Те се изработват от металокерамични твърди сплави ВК6, ВК8, ВК10М и други. Използването им за обработване на обикновени конструкционни стомани е неефективно. Произвеждат се няколко конструкции твърдосплавни свредла:



Фиг. 6.4. Геометрични параметри на цилиндрично винтово свредло



Фиг. 6.5. Твърдосплавни свредла

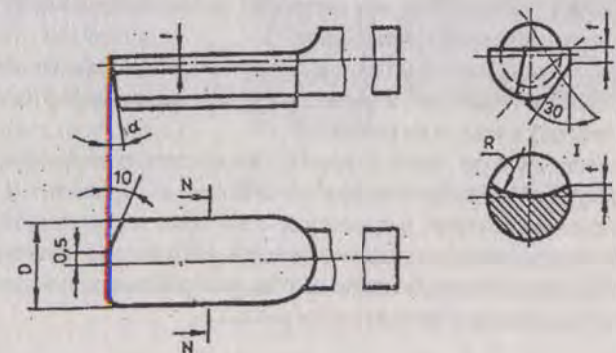
- с твърдосплавна пластина 1, запоена в предната част на тяло 2 от закалена стомана (фиг.6.5а);
- с твърдосплавна коронка 3 (фиг.6.5б). Коронките имат дължина $l = (1-1,5)D$ и се запояват чрез стъпална повърхнина към тялото 2;
- с изцяло твърдосплавна работна част (фиг.6.5в) или изцяло твърдосплавно (фиг.6.5г);
- с механично закрепени многоръбови пластини 4 (фиг.6.5д).

Свредла за дълбоки отвори. Отвори, за които отношението на дължината към диаметъра е по-голямо от 5-6, се наричат дълбоки. Диапазонът на диаметрите на тези отвори е голям - до 400 mm, а отношението на дължината към диаметъра достига 100 и повече. Такива отвори се срещат в стрелковите оръжия, в хидравличните елементи, във вретената и пинолите на машините, в колянвите валове и т.н.

Условията на работа при обработването на такива отвори са тежки: стабилността на инструмента е малка, затруднено е охлаждането на режещата част и отвеждането на стружките. От друга страна често към дълбоките отвори се предявяват високи изисквания за точност. Това е довело до създаването на специални свредла за обработването им. Тези свредла са три вида: еднозъбни, многозъбни и за пръстеновидно изрязване.

Еднозъбите свредла режат материала от едната страна на оста на отвора. Това води до малка производителност, но и до висока точност на обработваните отвори. Еднозъбите свредла са два вида: лопатообразни и оръжейни.

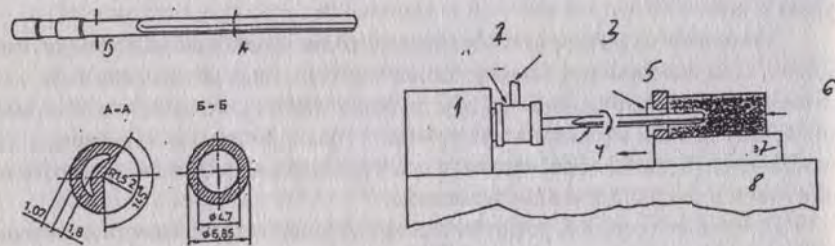
Лопатообразното свредло има формата на цилиндричен прът, изрязан от едната страна, за да се получи работната част (фиг.6.6). Неизрязаната цилиндрична част служи за радиална опора на инструмента. Главният режещ ръб е перпендикулярен на оста на свредлото ($k_r = 90^\circ$). С това се осигурява малка радиална сила, насочена срещу опорната цилиндрична повърхнина. Предният ъгъл на главния режещ ръб е 0° , което затруднява условията на работа. Затруднено



Фиг. 6.6. Лопатообразно свредло

е също охлаждането на инструмента и отвеждането на стружките. Поради това лопатообразните свредла се използват за свредловане и разсвредловане на отвори с дължина до $10D$ (при $D = 6-36 \text{ mm}$).

По-рационална конструкция има *оръжейното свредло*. Работната част и стъблото представляват две тръби, заварени челно и развалцовани така, че в напречно сечение да се получи формата, показана на фиг.6.7а. В процеса на работа по сърповидния отвор се подава охлаждаща течност. Тази течност изтича по външния стружков канал, като спомага за отвеждането на стружките. Работната част на свредлото е от бързорежеща стомана или твърда сплав, а стъблото - от конструкционна стомана.



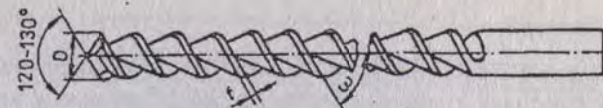
Фиг.6.7. Оръжейно свредло

Схемата на дълбоко пробиване с оръжейно свредло е показана на фиг.6.7б. Свредлото 4 е установено във вретеното на предното седло 1. През устройството 2 от тръбопровода 3 към свредлото се подвежда МОТ. Заготовката 6 е установена върху масата 7, преместваща се по направляващите на тялото 8. В процеса на работа свредлото се направлява от въртящата се втулка 5.

Многозъбите свредла най-често се изработват с два зъба. Те са по-производителни от еднозъбите, но осигуряват по-малка точност. Те са основно три вида: винтови, шнекови и ежекторни.

Винтовите свредла за дълбоко пробиване се различават от обикновените винтови свредла по наличието в опашката на централен отвор за подаване на охлаждаща течност в зоната на рязане.

Шнековите свредла (фиг.6.8) имат голям наклон на каналите ($\omega = 50-65^\circ$), с което се осигуряват по-добри условия за отвеждане на стружките. Сърцевината също е с по-голямо сечение, в сравнение с винтовите свредла. Предната повърхнина се подточва така, че да се осигури раздробяването на стружките. Тези свредла се използват за обработване на отвори с дължина, по-голяма от $10D$, върху агрегатни машини и автоматични линии.

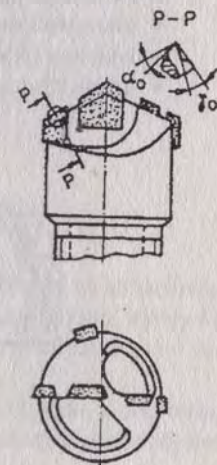


Фиг.6.8. Шнеково свредло

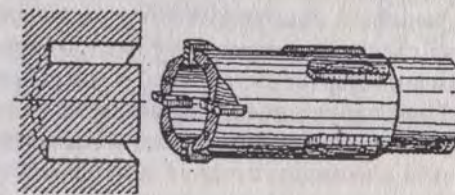
Фирмата *Sandvik Coromant* предлага специални свредла за дълбоки отвори с диаметър $20...65 \text{ mm}$, наречени *ежекторни* (фиг.6.9). Състоят се от работна глава и стъбло, съединени чрез резба. Режещата част е изработена от механично закрепени или запоени твърдосплавни пластини. От външната страна на свредлото под голямо налягане се подава охлаждаща течност, отвеждаща стружките по два вътрешни канала. Ежекторните свредла осигуряват голяма точност на обработване и висока производителност.

Когато се обработват отвори с голям диаметър с разгледаните по-горе свредла, голямо количество материал се превръща в стружки. Затова поцелесъобразно е рязането да се извършва пръстеновидно, като се остави необработена сърцевина (фиг.6.10). Това дава възможност да се съкрати разходът на енергия и времето за рязане. Освен това е възможно получената във вид на цилиндричен прът сърцевина да се използва за изработване на други детайли.

Свредлата за пръстеновидно изрязване се състоят от работна част и дълго стъбло, съединени с резба. Двете части са във вид на тръби. По челото на работната част (короната) са разположени режещите пластини. В зоната на рязане под голямо налягане се подава охлаждаща течност. Целесъобразно е свредлата за пръстеновидно изрязване да се използват за обработване на отвори с диаметър над 30 mm



Фиг. 6.9.Ежекторно свредло

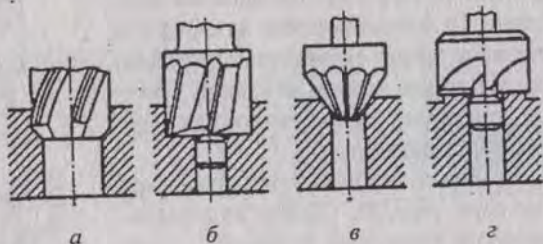


Фиг. 6.10. Свредло за пръстеновидно изрязване

6.2.2. Зенкери

Зенкерите се изработват цели, съставни и сглобяеми от инструментална стомана, твърда сплав и минералокерамика. Закрепват се към машините чрез опашки или дорници. По предназначение и конструктивни особености зенкерите се разделят на:

- цилиндрични (фиг.6.11а);
- цилиндрични с направляваща шийка (фиг.6.11б);
- конусни (зенковки) (фиг.6.11в);
- челни (цековки) (фиг.6.11г).



Фиг.6.11. Схеми на зенкерване

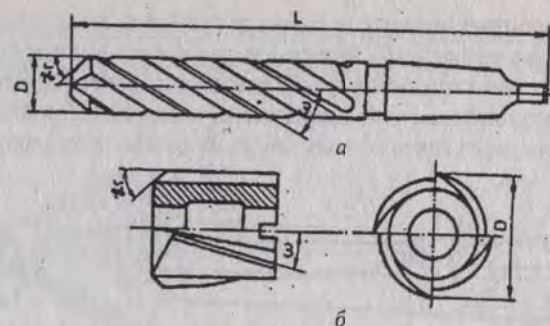
Цилиндрични зенкери. Тези зенкери са предназначени за разширяване на отвори, получени чрез леене, шамповане или свредловане. Те могат да свалят прибавка от 0,7 до 5 mm по диаметъра, а някои зенкери със специална конструкция - до 30 mm, като осигуряват 11-12 степен на точност и грапавост $R_a = 2,5 \dots 5$ mm. След зенкерване отворите с по-високи изисквания за точност се райбероват, разстъргват или протеглят.

Зенкерите с малък диаметър (до 16 mm) се изработват с цилиндрична опашка, със среден диаметър (от 10 до 50 mm) - с конусна опашка (фиг.6.12а) и с голям диаметър (от 25 до 80 mm) - с цилиндричен отвор за дорник (фиг.6.12б).

Броят на режещите ръбове обикновено е 3 за опашковите и 4 за дорниковите зенкери. Зенкерите, предназначени за сваляне на големи прибавки, се изработват с два зъба, а зенкерите с големи диаметри ($D = 70 \dots 100$ mm) - с шест зъба.

В зависимост от вида на обработвания материал главният установъчен ъгъл k_r се приема от 45° до 60° . Предният ъгъл γ_0 се приема от 5° до 25° в зависимост от вида и твърдостта на обработвания материал, а задният ъгъл α_0 е равен на $8^\circ \dots 10^\circ$. Ъгълът на наклона на винтовите стружковите канали ω има същото значение, както при винтовите свредла. За зенкерите с универсално предназначение $\omega = 10^\circ \dots 25^\circ$.

Направлението на наклона на канала определя посоката за отвеждане на стружката. При дясно въртеливо главно движение и десен наклон на стружковите канали стружката се отвежда назад, при същата посока на въртене и ляв наклон



Фиг. 6.12. Цилиндрични зенкери
а - с опашка; б - с цилиндричен отвор за дорник

на стружковите канали стружката се отвежда напред по посока на подаването. В последния случай стружката не наранява обработената повърхнина, в резултат на което се осигурява по-добра грапавост. Това обаче е възможно само при обработване на проходни (светли) отвори.

Калибровачната част на зенкерите е снабдена с лентичка с широчина 0,8...2mm. За намаляване на триенето калибровачната част се изработва с обратна конусност.

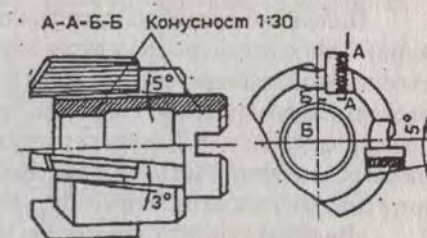
За по-ефективно използване на инструменталния материал се изработват сглобяеми цилиндрични зенкери. Те са няколко вида:

• **Зенкери с презаточваеми ножове** от бързорежеща стомана (фиг.6.13).

Тези зенкери имат зъби с призматична форма и рифелована задна повърхнина, което дава възможност зъбите да се регулират в осово и радиално направление. Затягането на зъбите се извършва с надлъжни клинове.

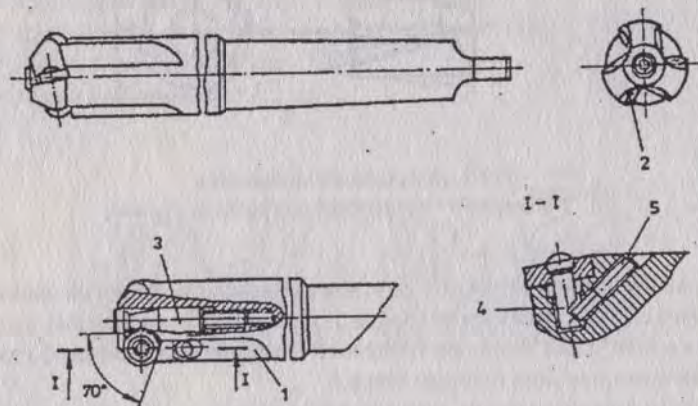
• **Зенкери със сменяеми твърдосплавни непрезаточваеми пластини** - многоръбови или кръгли. На фиг.6.14 е показан зенкер с кръгли пластини. Пластините 2 се закрепват чрез осите 4 и винтовете 5 в каналите 1 на тялото на зенкера. Винтът 3 с конусната си част ориентира пластините в радиално направление.

• **Двузъби зенкери.** Използват се за разширяване на отвори, вкл. дълбоки. Малкият брой на режещите зъби дава възможност те да се изработят по-масивни, а стружковите канали - по-големи. Това позволява чрез двузъбите зенкери да се сваля прибавка до 30 mm. Тези зенкери се изработват с диаметър от 28 до



Фиг. 6.13. Зенкери с презаточваеми ножове

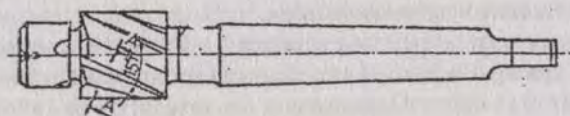
300 mm и обработват отвори с дължина до 4000 mm. Конструкцията на двузъб зенкер е показана на фиг.6.15. Зенкерът заедно с преходната втулка 3 е закрепен към дорника 2 с помощта на винта 5. Въртящият момент от дорника към зенкера се предава чрез щифтовете 4, запресовани в дорника. Дорникът завършва с конусна опашка, чрез която се закрепва към вретеното на машината.



Фиг.6.15. Двузъб зенкер

Цилиндрични зенкери с направляваща шийка (челно-цилиндрични зенкери). Тези зенкери се използват за изработване на цилиндрични вдлъбнатини, съосни с разширявания отвор. Такива вдлъбнатини служат обикновено за гнезда за скрити глави на болтове и винтове. Характерна за тези инструменти е предната водеща част (фиг.6.16.), която ги направлява по съществуващия отвор. По този начин се осигурява съосността на съществуващия и обработвания отвори. Главните режещи ръбове са перпендикулярни на надлъжната ос ($k_r = 90^\circ$).

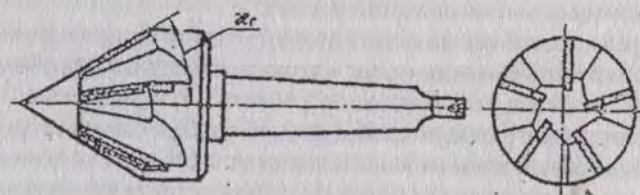
Водещата шийка се изработва като едно цяло със зенкера или е сменна. За предпочитане са зенкерите със сменни шийки, които са по-универсални - шийката се избира по диаметъра на разширявания отвор.



Фиг.6.16. Челно-цилиндричен зенкер

Конусни зенкери (зенковки). Предназначени са за изработване на конусни вдлъбнатини с малка дълбочина, служещи за главите на винтове, центрови

отвори, гнезда за клапани и фаски. Зъбите на тези зенкери са разположени по конусна повърхнина (фиг.6.17) с ъгъл на конуса $2k_r = 60^\circ, 75^\circ$ и 90° .

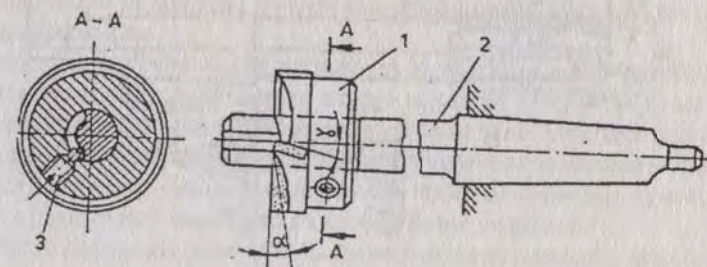


Фиг.6.17. Конусен зенкер (зенковка)

Челни зенкери. Челните зенкери (фиг.6.18) се използват за обработване на изпъкнали челни повърхнини, разположени концентрично около отвори. Изработват се с опашки или с отвор за дорник. Закрепването на зенкерите 1 върху дорника 2 се извършва с напречения винт 3.

Зъбите им (от 4 до 6) са разположени само по челото. Много често зъбите се изработват твърдосплавни, особено при обработване на чугун.

Челните зенкери, подобно на челно-цилиндричните, се водят по предварително обработения отвор чрез направляваща шийка. Диаметърът на зенкера се избира малко по-голям от диаметъра на обработваната повърхнина.



Фиг.6.18. Челни зенкери (цековки)

6.2.3. Райбери

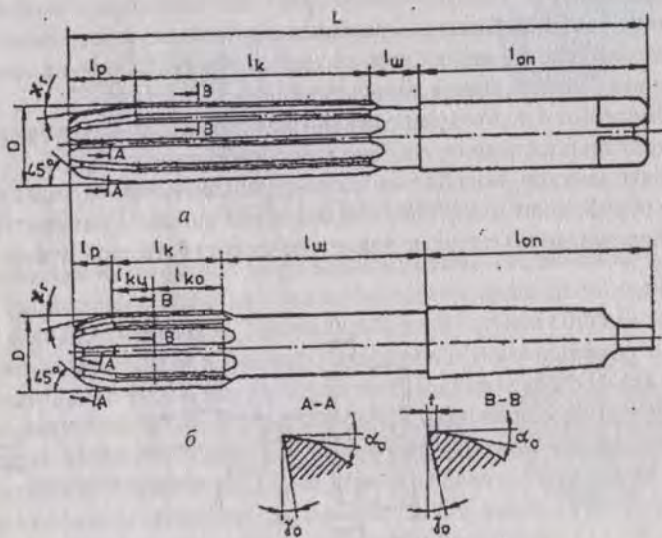
Райбероването е метод за обработване на цилиндрични и конусни отвори, осигуряващ висока точност и малка грапавост. Прибавките при райбероване са от 0,05 до 0,4 mm по диаметъра. Обработването се извършва за два прехода - грубо и чисто, с инструменти с различни размери.

Чрез райбероването се постига 7...11 степен на точност на отвора и грапавост $R_a = 0,2 \dots 1,25 \mu m$. При спазване на определени условия тези показатели

могат да бъдат и по-добри - 6 степен на точност и $R_a = 0,1 \mu\text{m}$. Голямата точност и малката височина на грапавините се дължат на достатъчно точното предварително обработване на отвора, малката дебелина на срязвания слой материал, относително малкото силово натоварване на технологичната система и високата собствена точност на режещия инструмент.

Според предназначението си райберите се делят на цилиндрични, конусни и котелни, а по начина на задвижване - на ръчни и машинни. Изработват се цели, съставни и сглобяеми от бързорежещи стомани и твърди сплави.

Цилиндрични райбери. Цилиндричните райбери служат за предварително и окончателно обработване на точни цилиндрични отвори. Състоят се от режеща и калибровача части и опашка (фиг.6.19). Пред режещата част има направляващ конус под ъгъл 45° , предназначен за предварително ориентиране на инструмента в отвора и за предпазване на зъбите от механични повреди.



Фиг.6.19. Цилиндрични райбери

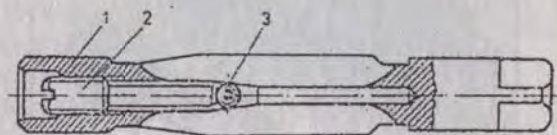
Целите ръчни райбери с външен диаметър се изработват с цилиндрична опашка с квадрат, а машинните - с цилиндрична опашка, с конусна опашка или с отвор за дорник.

Райберите свалят стружка с малко сечение, ето защо зъбите им са по-малко натоварени, а стружковите канали могат да бъдат с по-малко напречно сечение. Поради това те се изработват като правило с голям брой зъби.

Тъй като при райбероването се сваля малка прибавка, не е възможно да се изправи грешката в разположението на оста на отвора. Увеличават се точността на формата в напречно и надлъжно сечение, точността на диаметра и

се подобрява грапавостта на обработваната повърхнина. Поради това е желателно райберът да се води свободно по обработвания отвор. За тази цел се използват специални патронници, осигуряващи две степени на свобода на инструмента (вж. гл.2).

Регулируеми райбери. Тъй като райберите са предназначени за обработване на точни отвори (с малки допускови полета) размерната им трайност е малка. Износените райбери се презаточват на по-малък размер или се бракуват. За да се увеличи сумарната трайност са разработени конструкции на регулируеми и сглобяеми райбери. На фиг.6.20 е показан регулируем райбер. В тялото 1 на райбера са изработени централен отвор и радиални прорези. Регулирането се извършва чрез сачмата 3 при завиване на винта 2.



Фиг.6.20. Регулируем райбер

Сглобяемите райбери позволяват регулиране на диаметра в по-голям диапазон и икономия на инструментален материал.

Конусни и котелни райбери. Конусните райбери се използват за обработване на отвори за шифтове, отвори за морзови и метрични конуси, отвори за конусни резби и др.

Котелните райбери са предназначени за райбероване на отвори едновременно в два детайла, например, на отвори за нитове. Оттук идва и името им, тъй като котлите се изработват основно чрез занитване. Предварително пробитите в двата детайла отвори при присъединяването за занитване може да се разминават значително. Затова те се пробиват с по-малък диаметър, а с котелните райбери се разширяват съвместно до необходимия диаметър.

Комбинирани инструменти. За съвместяване на преходите при обработване на стъпални отвори се използват множество комбинирани инструменти - свредла, зенкери и райбери. Тези инструменти се използват на всички видове стругови, пробивни и пробивно-разстъргващи машини и осигуряват висока производителност и лесно обслужване на операцията. На фиг.6.21 са показани две конструкции на комбинирани инструменти на фирмата GUHRING.

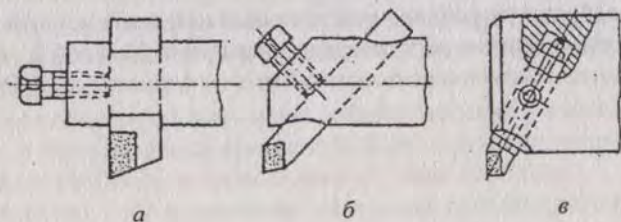


Фиг. 6.21. Комбинираны инструменти

6.2.4. Разстъргващи инструменти

Инструментите за разстъргване се наричат борشانги. Борشانгите представляват дорник, върху който са закрепени един или няколко разстъргващи ножа или пластини. Използват се за предварително и окончателно обработване на отвори в корпусни детайли.

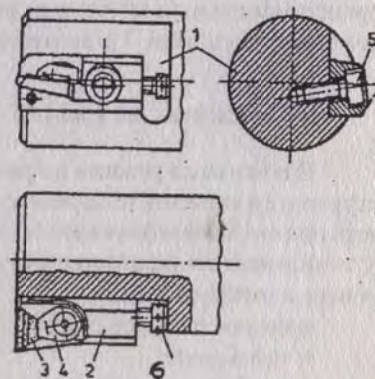
Най-прости по конструкция са борشانгите с призматични ножове (фиг.6.22). Ножовете се поставят перпендикулярно на оста на борشانгата при обработване на проходни отвори (фиг.6.22а) и наклонено при обработване на стъпални и глухи отвори (фиг.6.22б,в). Закрепването се извършва с винтове, кли-



Фиг.6.22. Борشانги с призматични ножове

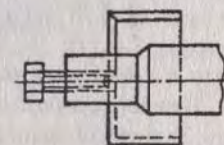
нове или щифтове. Конструкцията на борشانгите трябва да осигурява възможност за регулиране на ножовете на съответния радиален размер. Например, ножът от фиг.6.22в се настройва точно с помощта на винт, завит в задния му край, и контрагайка и след това се закрепва в борشانгата. Настройването се извършва извън борشانгата върху специални приспособления за настройване.

Широко разпространение са получили борشانгите с механично закрепени сменяеми твърдосплавни пластини. В конструкцията на фирмата Sandvik Coromant (фиг.6.23) режещата част на борشانгата е оформена като отделна вложка 2, закрепена към тялото 1 с винта 5. Пластина 3 се закрепва към вложката с планка 4. Вложката се регулира на размер с винта 6.



Фиг. 6.23. Борشانга с механично закрепена твърдосплавна пластина

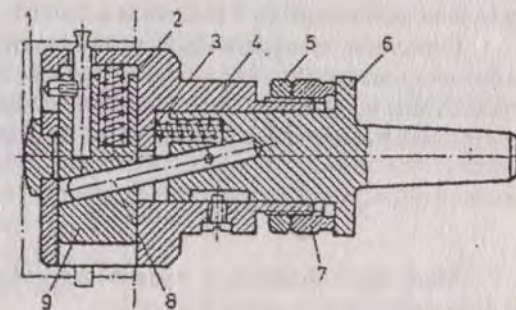
За разстъргване на отвори с диаметър над 40 mm намират приложение борشانги с пластинкови ножове (фиг.6.24). Ножовете са призматични и режат едновременно от двете страни. Това води до уравнивяване на радиалните сили и до увеличаване на производителността на обработване. Ножовете се поставят в канала на борشانгата и се закрепват с винтове, щифтове или клинове.



Фиг. 6.24. Борشانга с пластинкови ножове

При обработването на канали и чела се използват инструменти със сложна конструкция, при които едно движение на изпълнителните органи на машината се трансформира в друго, липсващо в дадената машина. На фиг.6.25 е показан такъв инструмент, който е предназначен за обработване на канали в глухи отвори върху пробивно-разстъргващи машини.

В момента, в който упорът 1 се докосне до дъното на отвора, плъзгащата се втулка 4 с ножодържача 9 спира да се движи. Пре-



Фиг.6.25. Инструмент за обработване на канали

местващото се по посока на оста тяло на боршангата, действайки върху клина 8, предизвиква напречно преместване на ножодържача 9 и започва прорязване на канала. При обратно преместване на тялото 6 пружините 2 и 3 връщат механизма в изходно положение. Дълбочината на прорязвания канал се регулира с гайката 7 и контрагайката 5.

6.3. Режими на рязане

Елементи на режима на рязане. Процесът на рязане, геометрията на инструмента и елементите на режима на рязане при разстъргване са идентични с тези при струговане (вж гл.5).

Елементите на режима на рязане при пробиване, разпробиване, зенкерование и райберование са:

- скоростта на рязане;
- подаването;
- дълбочината на рязане.

Скоростта на рязане v се приема равна на окръжната скорост на точката от режещия ръб, разположена върху най-големия диаметър D_1 на инструмента:

$$v = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{1000}, m/min, \quad (6.1)$$

където n е честотата на главното движение, min^{-1} .

В действителност различните точки от режещия ръб имат различни скорости. За точките, разположени върху оста на въртене на инструмента, тази скорост е равна на нула.

При разглежданите методи за обработване се различават три вида подаване - подаване на един зъб, подаване за един оборот и подаване за една минута (минуто подаване).

Подаването за оборот s е равно на осовото преместване на инструмента за едно негово завъртане. Измерва се в mm/об.

Свредлата, зенкерите и райберите по принцип са многоръбови (многозъби) инструменти с брой на зъбите z . Подаването на един зъб е равно на осовото преместване на всеки зъб при завъртане на инструмента на ъгъл φ , равен на централния ъгъл на зъбите, и се определя по формулата

$$s_z = \frac{s}{z}, mm/зъб. \quad (6.2)$$

Минутното подаване s_m е равно на осовото преместване на инструмента за една минута и се измерва в mm/min:

$$s_m = s \cdot n = z \cdot s_z \cdot n, mm/min. \quad (6.3)$$

Дълбочината на рязане t се определя от диаметрите D на обработената и d на обработваната повърхнини:

$$t = \frac{D-d}{2}. \quad (6.4)$$

Тъй като при свредловане $d=0$, то

$$t = \frac{D}{2}. \quad (6.5)$$

Сили и мощности на рязане. При свредловане възникват осова сила F_o и въртящ момент M , които се определят по емперичните степенни зависимости

$$F_o = C_p D^{z_p} s^{y_p}, \quad (6.6)$$

$$M = C_M D^{z_M} s^{y_M}. \quad (6.7)$$

Коефициентите и степенните показатели са приведени в технологичните справочници.

Мощността, изразходвана за преодоляване на осовата сила, е 0,5...1,5% от мощността за преодоляване на съпротивителния момент. Поради това тази част от мощността се пренебрегва, а мощността на рязане P_p се определя по формулата

$$P_p = \frac{M \cdot n}{974100} = \frac{M \cdot v}{D \cdot 3058,7}, kW. \quad (6.8)$$

Силите и мощностите на рязане при зенкерование и райберование се определят по подобни зависимости.

6.4. Пробивни и разстъргващи машини

Пробивните и разстъргващите машини са предназначени за обработване на светли и глухи отвори чрез свредловане, зенкерование, райберование, разстъргване и нарязване на резба (с метчици). Върху разстъргващите машини може да се извършва и фрезование. Според предназначението и конструктивните си особености те се подразделят на:

- вертикално-пробивни машини;
- радиално-пробивни машини
- хоризонтално-разстъргващи машини;
- координатно-разстъргващи машини;
- прецизно-разстъргващи машини и др.

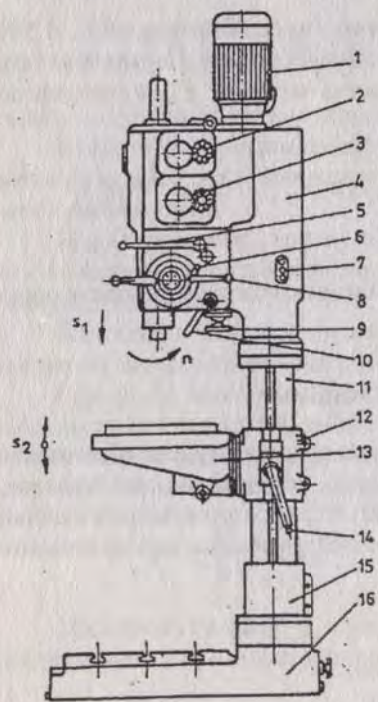
6.4.1. Вертикално-пробивни машини

Вертикално-пробивните машини са предназначени за пробиване, разпробиване, зенкерование и райберование на отвори и за нарязване на резби с метчици. Обработваният детайл се установява върху маса, която няма възможност за точни установъчни (позициониращи) премествания. Поради това с едно установяване на детайла може да се обработи само един отвор.

В зависимост от габаритите си вертикално-пробивните машини се разделят на настолни и колонни.

Настолните вертикално-пробивни машини са предназначени за обработване на отвори с диаметър до 16 mm. Кинематиката на тези машини е силно опростена. Малките им размери позволяват да бъдат установени върху специални поставки или маси, откъдето произлиза и тяхното наименование. Използват се основно в единичното производство и за ремонтни работи.

Колонните вертикално-пробивни машини са предназначени за извършване на пробивни операции при детайли от малък и среден типоразмер. Пробивната машина ПК 32 (фиг.6.26) се произвежда в България и е предназначена за пробиване на отвори с максимален диаметър до 32 mm.



Фиг. 6.26. Пробивна колонна машина ПК 32

- 1 - главен електродвигател;
- 2, 3 - ръкохватки за превключване на оборотите и подаванията; 4 - тяло;
- 5 - лост за включване и изключване на предпазния съединител;
- 6 - ръкохватка за затягане при ограничена дълбочина на рязане;
- 7 - електрически ключ;
- 8, 9 - ръкохватки за грубо и фино ръчно подаване, съответно;
- 10 - тръбопровод за подвеждане на охлаждаща течност; 11 - колона; 12 - конзола; 13 - маса;
- 14 - ръкохватка за преместване на конзолата и масата по вертикалните направляващи на колоната; 15 - фланец; 16 - основа

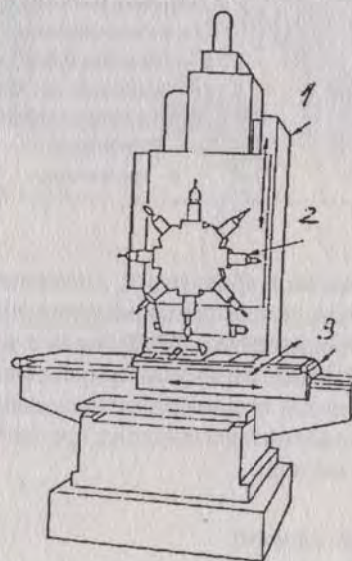
Главният превод се задвижва от асинхронен електродвигател 1 с мощност 2,2 kW. От него чрез зъбни предавки вретеното получава шест честоти на въртене (от 85 до 1500 min⁻¹) с показател на геометричния ред $\phi = 1,78$.

Подавателният превод получава движение от вретеното и има четири степени на подаването с обхват от 0,1 до 0,4 mm/об.

Грубо ръчно подаване може да се осъществи чрез ръкохватката 8 при изключен съединител, а фино - чрез ръчното колело 9.

Масата на машината 13 може да се завърта около хоризонтална ос и около вертикалната ос на колоната 11, а чрез ръкохватката 14 тя заедно с конзолата 12 може да се премества по колоната. Голямогабаритни детайли могат да се установяват непосредствено върху основата 16.

Вертикално-пробивни машини с ЦПУ. Тези машини (фиг.6.27) са с револверна глава и маса, управлявана по двете оси. В револверната глава се установяват инструменти за обработване на отвори или фрезови инструменти. Управляваната по двете координати маса дава възможност за обработване на множество отвори за една установка, а също така за контурно фрезование.



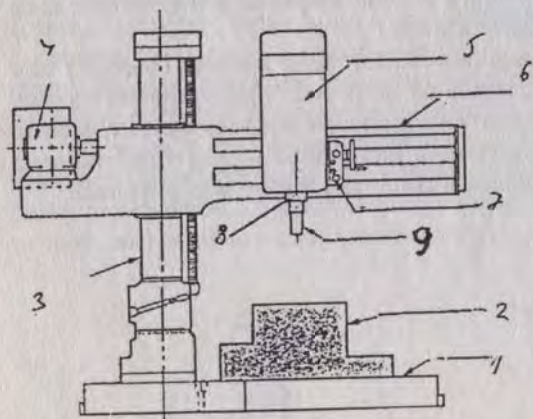
Фиг. 6.27. Вертикално-пробивна машина с ЦПУ

- 1 - колона;
- 2 - револверна глава с инструменти;
- 3 - маса за установяване на обработваните детайли

6.4.2. Радиално-пробивни машини

Радиално-пробивните машини са предназначени за пробиване, разпробиване, зенкерование, райберование и разстъргване на отвори и за нарязване на резба с метчик в корпусни детайли със средни и големи размери. Кинематиката на машините позволява за едно установяване да се обработват неограничен брой отвори, разположени от едната страна на обработвания детайл.

На фиг. 6.28 е показана радиално-пробивна машина.



Фиг. 6.28. Радиално-пробивна машина

- 1 - основа;
- 2 - обработван детайл;
- 3 - вертикална колона;
- 4 - електродвигател;
- 5 - вретенна кутия;
- 6 - хоризонтална конзола;
- 7 - табло за управление;
- 8 - пинола;
- 9 - вретеното

Главното въртливо движение се извършва от вретеното 9, а подавателното – от пинолата 8. Главният и подавателният преводи са разположени във вретенната кутия 5. Задвижването е от електродвигателя 4. Обработваният детайл 2 се установява върху основата 1. Машината може да извършва три установъчни движения – въртене на хоризонталната конзола 6 около вертикалната колона 3, преместване на хоризонталната конзола по вертикалната колона, преместване на вретенната кутия 5 по хоризонталната конзола.

6.4.3. Хоризонтално-разстъргващи машини

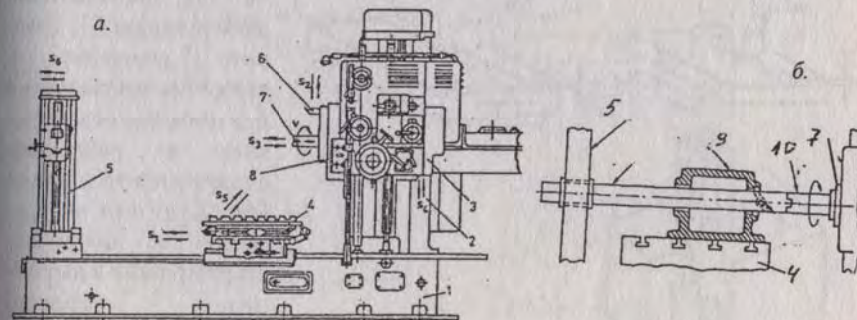
Хоризонтално-разстъргващите машини притежават универсални технологични възможности за обработване на корпусни детайли в условията на единичното и серийното производство. На тях могат да се извършват разстъргване, пробиване, разпробиване, зенкерование, райберование, нарязване на резби, струговане на външни цилиндрични и равнинни повърхнини, нарязване на резби с метчик, фрезование на равнинни повърхнини.

На фиг. 6.29а е показана хоризонтално-разстъргваща машина.

Инструментите - свредла, борщанги, зенкери, райбери, фрези, метчици -

се установяват във вретеното 7, което извършва главното въртливо движение. При разстъргване на чела и отвори с нерегулируеми борщанги, те се поставят върху плъзгача 6, преместващ се радиално по планшайбата 8. В тези случаи главното въртливо движение се извършва от планшайбата.

Подавателното движение може да се извършва от масата 4, върху която е установен обработвания детайл, или от вретеното. В първия случай масата получава надлъжно S_1 или напречно S_2 преместване. Във втория случай може да се използва осовото преместване S_3 на вретеното, вертикалното преместване S_4 на вретенната кутия или радиалното преместване S_5 на главата на планшайбата. Борщанги с голяма дължина се установяват на две опори – във вретеното 7 и задната стойка 5 (фиг.6.29б).

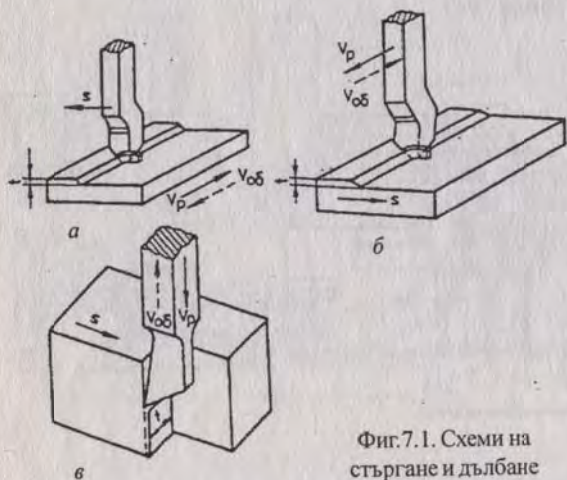


Фиг. 6.29. Хоризонтално-разстъргваща машина

- 1 - основа; 2 - предна стойка; 3 - вретенна кутия; 4 - маса; 5 - задна стойка;
- 6 - плъзгач (радиален супорт); 7 - вретено; 8 - планшайба;
- 9 - обработван детайл; 10 - борщанга

Глава 7 СТЪРГАНЕ И ДЪЛБАНЕ

Кинематични схеми на обработване и режещи инструменти. Чрез стъргане и дълбане се обработват равнинни и профилни повърхнини с праволинейни образуващи. Стъргането се извършва на напречно- и надлъжно-стъргателни машини, дълбането - на дълбачни машини. Инструментите са, съответно, стъргателни и дълбачни ножове.



Фиг. 7.1. Схеми на стъргане и дълбане

на направлението на главното движение. То се извършва периодично на всеки двоен ход в момента, в който ножът е извън пределите на обработваната повърхнина, т.е. в края на всеки обратен ход. Подаването се извършва от заготовката (в напречно-стъргателните и дълбачните машини) или от инструмента (в надлъжно-стъргателните машини).

Режещи инструменти. По форма стъргателните и дълбачните ножове приличат на стругарските, но работят в по-тежки условия. В началото на всеки работен ход при връзването в материала на обработвания детайл инструментът се удря в заготовката. Тези ударни натоварвания ограничават кръга на използваните инструментални материали.

Стъргателните ножове се класифицират по предназначение на проходни, подрязващи, отрязващи и профилни, а по вида на обработването - на ножове за грубо и за чисто обработване.

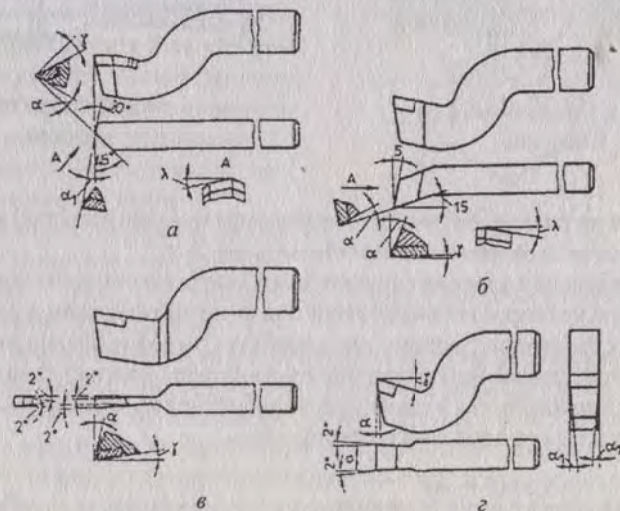
Проходните ножове са предназначени за обработване на равнини с хоризонтално подаване (фиг. 7.2а), а подрязващите - за обработване на равнини с вертикално подаване (фиг. 7.2б). Отрязващите и прорязващи ножове (фиг. 7.2в)

Стъргането и дълбането се осъществяват чрез комбинирането на две постъпателни движения (фиг. 7.1). Главното движение е възвратно-постъпателно и се извършва от заготовката в надлъжно-стъргателните машини (фиг. 7.1а) и от инструмента в напречно-стъргателните и дълбачните машини (фиг. 7.1б, в).

Подавателното движение е постъпателно и е перпендикулярно

се използват за отрязване и прорязване на тесни канали. За чисто обработване на равнинни повърхнини с голямо подаване се използват широки ножове (фиг. 7.2г). За по-плавно връзване и излизане на инструмента от заготовката стъргателните ножове се изработват с ъгъл $\lambda = 10^\circ \dots 60^\circ$.

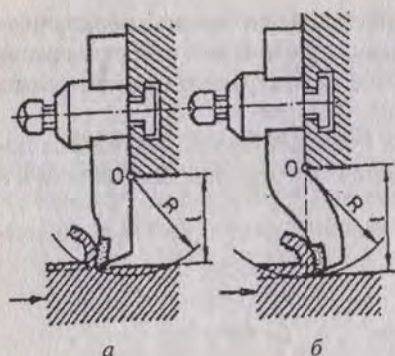
Стъргателните ножове по форма са прави и огънати. Правите са по-технологични за изработване, но по-склонни към трептения. Затова те се използват при работа с малка конзолност.



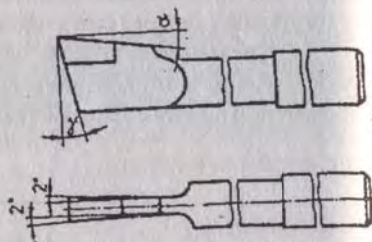
Фиг. 7.2. Стъргателни ножове

По-широко разпространение са получили огънатите ножове. В процеса на рязане ножът под действието на силите на рязане се огъва. Правият нож при огъване се връзва в заготовката, това намалява трайността на инструмента и влошава качеството на обработената повърхнина (фиг. 7.3а). При огъване на огънат нож неговият връх се отдалечава от обработената повърхнина и сръзва по-тънък слой метал (фиг. 7.3б). Това осигурява по-спокойно протичане на процеса на рязане.

Дълбачните ножове по форма и геометрия са подобни на стъргателните и се използват за обработване на вътрешни профилни повърхнини, шпонкови и шлицеви канали и др. При тях по сравнение със стъргателните ножове предната и задна повърхнини си разменят местата (фиг. 7.4). В зависимост от предназначението си те се делят на проходни, прорезни, подрезни, шпонкови и профилни.



Фиг. 7.3. Стъргане с прав и огънат нож



Фиг. 7.4. Дълбачни ножове

Режими на рязане. Елементите на режима на рязане при стъргане и дълбане са скоростта на рязане и подаването на двоен ход.

При работа на напречно-стъргателни и дълбачни машини скоростта на рязане v е равна на скоростта на работния ход на плъзгача с ножа, а при работа на надлъжно-стъргателни машини - на скоростта на работния ход на масата. Тъй като главното движение е възвратно постъпателно, скоростта на рязане се изменя от нула до максимум в границите на работния ход. Средната скорост на рязане v_p може да се определи по формулата:

$$v_p = \frac{L \cdot n \cdot (1 + m)}{1000}, \text{ m/min}, \quad (7.1)$$

където L е дължината на хода, mm; n - честотата на двойните ходове, min^{-1} ; $m = v_p/v_x$; v_x - скоростта на обратния (празния) ход.

Подаването s представлява преместването на ножа или заготовката по направление на подавателното движение за един двоен ход и се измерва в милиметри за двоен ход. Минутното подаване $s_M = s \cdot n$, mm/min.

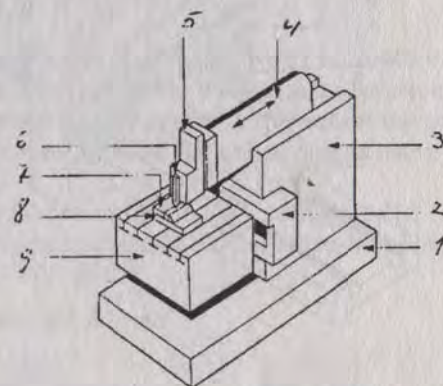
Силите на рязане при стъргане и дълбане се разлагат на три съставни F_x , F_y и F_z . Силата F_z е най-голяма и е насочена успоредно на главното движение, силата F_y е перпендикулярна на обработената повърхнина, силата F_x е перпендикулярна на силите F_y и F_z . Върху тези сили оказват влияние същите фактори, както и при струговане, затова те се определят по същите формули. Стойностите на степенните показатели се избират от съответните таблици на технологичните справочници.

Мощността на рязане се определя по формулата:

$$P_p = \frac{F_z v_p}{60 \cdot 102}, \text{ kW}. \quad (7.2)$$

Напречно-стъргателни машини. Напречно-стъргателните машини се използват за обработване на хоризонтални, вертикални и наклонени повърхнини на детайли с малки и средни размери.

На фиг. 7.5 е показан общия вид на напречно-стъргателна машина. Върху основата 1 на машината е закрепено тялото 3. По направляващите на тялото се премества плъзгачът 4, носещ ножодържача 5 с инструмента 6. Обработваният детайл 7 се установява върху масата 9 или в стиските 8. Масата се премества напречно по направляващите на конзолата 2, а конзолата - вертикално по направляващите на тялото.



Фиг. 7.5. Напречно-стъргателна машина

Преобразуването на въртеливото движение на електродвигателя във възвратно-постъпателно движение на плъзгача се извършва от кулисен механизъм (на чертежа не е показан).

Използването на възвратно-постъпателно движение предопределя наличието на празен ход, което намалява производителността на тези машини. Поради това те са ефективни за обработване на дълги и тесни повърхнини.

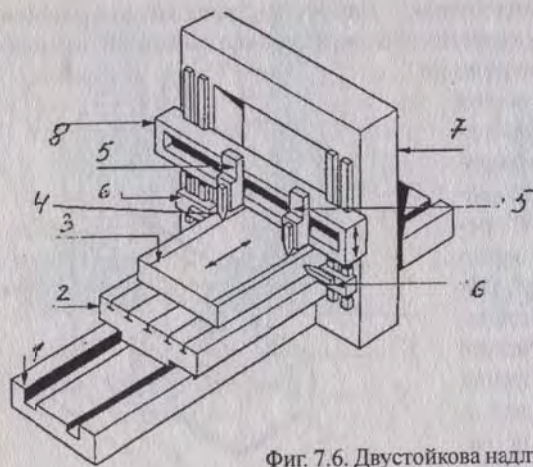
В България се произвежда напречно-стъргателна машина НС631. Тя е предназначена за обработване на равнинни повърхнини с широчина до 400 mm и максимална обработвана дължина - 630 mm. Използва се най-често в единичното и дребносерийното производство.

Надлъжно-стъргателни машини. Тези машини са предназначени за обработване на голямогабаритни детайли - тела, стойки, плочи и др. Използват се също така за едновременно обработване на няколко детайла със средни размери.

Основните размери, характерни за надлъжно-стъргателните машини с общо предназначение, са: максимална широчина на стъргане (от 700 до 4000 mm) и максимална дължина на стъргане (от 1500 до 12000 mm).

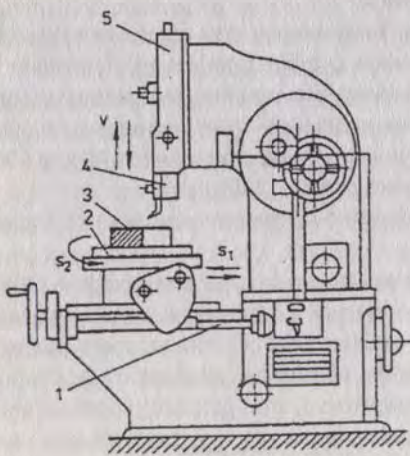
В зависимост от конструкцията надлъжно-стъргателните машини са едностойкови или двустойкови (портални).

На фиг. 7.6 е показана двустойкова надлъжно-стъргателна машина. Обработваният детайл 3 се установява върху масата 2, преместваща се надлъжно по направляващите на тялото 1. Тялото е обхванато от П-образна греда (портал) 7 с вертикални направляващи, по които се премества траверсата 8. Стъргателните ножове 4 се установяват в супортите 5, извършващи хоризонтално (напречно) подавателно движение по траверсата и в супортите 6, извършващи вертикално подавателно движение по направляващите на тялото.



Фиг. 7.6. Двустойкова надлъжно-стъргателна машина

Вертикално-стъргателни машини. Вертикално-стъргателните (дълбачни) машини са предназначени за обработване на профилни външни и вътрешни повърхнини, шпонкови и шлицеви канали и др. в условията на единичното и дребносерийното производство (фиг. 7.7). Главното движение е вертикално и се извършва от плъзгача 5, в който е установен ножът 4. Обработваният детайл 3 се установява върху масата 2, която може да извършва три подавателни движения - надлъжно, напречно и кръгово. Механизмът за задвижването на плъзгача (механичен или хидравличен) е монтиран в тялото 1.



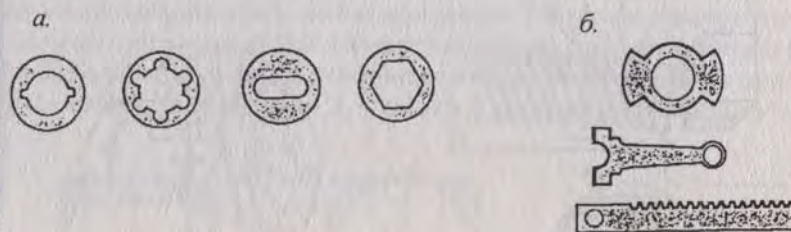
Фиг. 7.7. Вертикално-стъргателна машина

Глава 8 ПРОТЕГЛЯНЕ

8.1. Кинематични схеми на обработване

Инструментите за протегляне се наричат протяжки. Те са многозъби инструменти, при които всеки следващ зъб има по големи размери (по височина, широчина или диаметър) от предишния. С това се осигурява сваляне на прибавка при едно, обикновено постъпателно, относително движение на инструмента и обработвания детайл.

Чрез протегляне се обработват вътрешни (фиг. 8.1а) и външни (фиг. 8.1б) отворени повърхнини, като се постига висока точност (7...10 степен) и малки височини на грапавините ($R_a = 1,25 \dots 0,32 \mu m$).



Фиг. 8.1. Повърхнини на детайли, обработени чрез протегляне

Кинематичните схеми на рязане при протегляне са сравнително прости. Обикновено рязането се извършва с едно главно движение, по рядко - с две или три движения. При обработване само с едно, главно, движение ролята на подавателните движения е поета от конструкцията на инструмента чрез съответно оформяне и подреждане на зъбите.

Най-проста и най-разпространена е схемата, която се осъществява само с постъпателно движение на инструмента или обработвания детайл. Тя се използва за обработване на вътрешни и външни (фиг. 8.2а) повърхнини с постоянен по посока на главното движение профил върху универсални протеглящи машини.

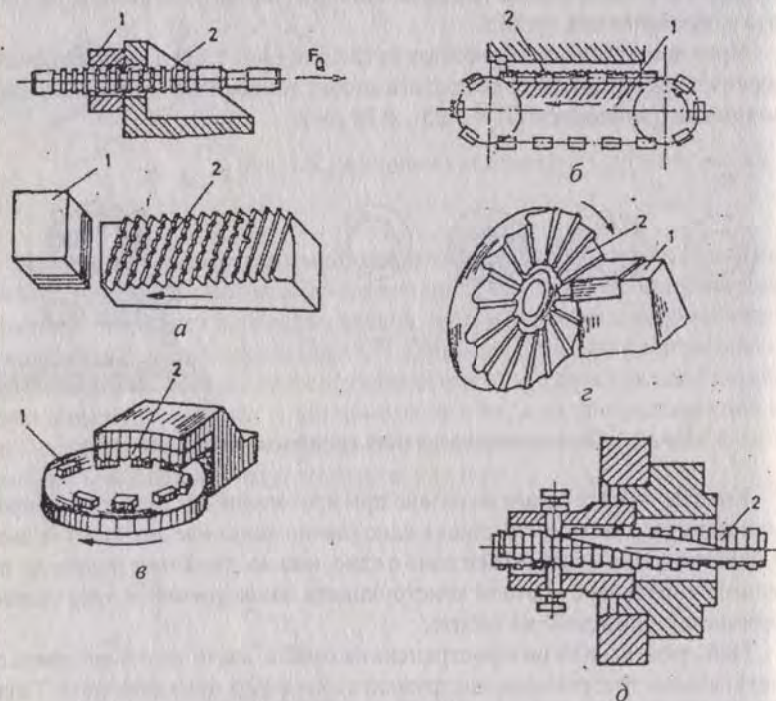
За увеличаване на производителността при обработване на външни повърхнини се използва схема за непрекъснато протегляне (фиг. 8.2б, в), при която непрекъснат поток от детайли се премества относно неподвижна протяжка.

При протегляне на външни повърхнини с постоянен по посока на главното движение профил движението на протяжката може да бъде въртливо (фиг. 8.2г).

Чрез съчетаване на две движения - постъпателно и въртливо - се обработват сложни профилни повърхнини, например, винтови канали (фиг. 8.2д).

Подемът на зъб при протегляне е от 0.05 до 0.3 mm. Скоростта на рязане е

малка - от 1 до 16 m/min. Въпреки това протеглянето е един от най-производителните методи за обработване чрез рязане - производителността е 2...3, в някои случаи до 10 пъти по-висока от другите известни методи. Високата производителност се дължи на голямата обща дължина на едновременно участващите в рязането режещи ръбове. Протяжките имат режещи, зачистващи и калибровачки зъби, при което с един инструмент се извършват няколко прехода - грубо, получисто и чисто обработване.



Фиг.8.2. Схеми на протегляне
1 - обработван детайл; 2 - протяжка

Протяжките обаче са сложни и скъпи инструменти и се изработват за обработване на повърхнините на конкретни детайли. Затова протеглянето е икономически ефективно в условията на голямо серийното и масовото производство.

8.2. Режещи инструменти

Протяжките се класифицират по предназначение и по схемата на изрязване на прибавката.

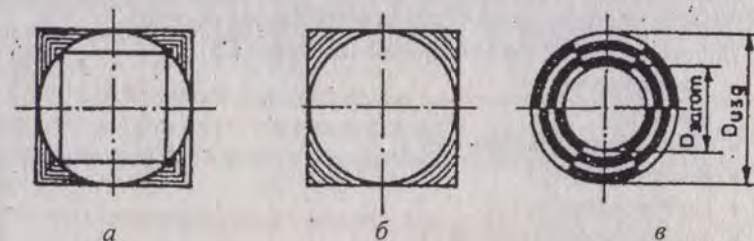
По предназначение те се делят на:

- протяжки за обработване на вътрешни повърхнини - цилиндрични, шлицеви, многостенни и др;
- протяжки за обработване на външни повърхнини - равнинни, ротационни, зъбни и др.

Схемите на изрязване на прибавката при протегляне са:

- профилна (обикновена);
- генераторна;
- групова (прогресивна).

Профилната схема (фиг.8.3а) се осъществява от протяжка, режещите зъби на която имат една и съща форма, и тази форма съответства на формата на напречното сечение на обработваната повърхнина. Например, при обработване на квадратен отвор всичките зъби на протяжката имат формата на квадрат и се различават един от друг само по размерите си в напречно сечение. Всеки следващ зъб е по-голям от предишния с $2 \cdot S_z$, където S_z е подаването на един зъб.



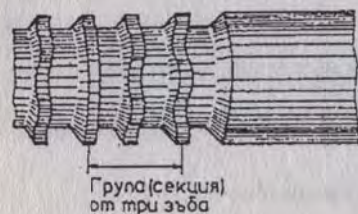
Фиг.8.3. Схеми на рязане при протегляне
а - профилна; б - генераторна; в - прогресивна

При тази схема възникват големи сили на рязане. Освен това зъбите се изработват и заточват по-трудно, отколкото при другите схеми. Тя се използва при обработване с малка прибавка и високи изисквания за точност.

При генераторната схема на рязане формата в напречно сечение на първия зъб е съставена от прави линии и/или дъги от окръжности. Формата на всеки следващ зъб се изменя като постепенно се преминава към формата на зададената повърхнина. Само последните зъби на протяжката имат формата на тази повърхнина. Например, при обработване на квадратен отвор (фиг.8.3б) първият зъб на протяжката има формата на окръжност. Всеки следващ зъб се състои от дъги от окръжности и прави линии. Последният режещ зъб и калибровачите зъби имат формата на квадрат.

Изработването и заточването на протяжките, работещи по генераторната

схема, е по-просто, отколкото при профилната схема. Обработваните повърхнини обаче се получават с по-голяма височина на грапавините.



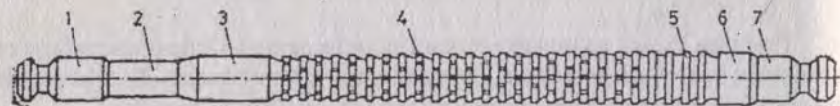
Фиг.8.4. Група (секция) зъби

При прогресивната схема на рязане (фиг.8.3в) зъбите на протяжката са обединени в групи по няколко, обикновено от 2 до 4 (фиг.8.4). Затова тази схемасе нарича и с друго име - групова. Във всяка група режещите зъби имат еднаква форма и външни размери, но различни по дължина и разположение режещи ръбове. Всеки режещ зъб от групата сваля стружка с по-малка дължина, отколкото е дължината на обработвания контур. Това позволява всеки зъб да работи с по-голяма дълбочина - 5...10 пъти по-голяма, отколкото при профилната схема. Характерно за прогресивната схема е по-голямата производителност и по-малките сили на рязане, но и по-голямата височина на грапавините. Протяжките, работещи по тази схема, се изработват по-трудно. Тази схема се използва за сваляне на големи прибавки, например, при обработване на повърхнини на лети или ковани заготовки.

Конструктивните елементи и геометричните параметри на протяжките ще разгледаме на примера на протяжка за обработване на отвор.

Протяжката се състои от следните части (фиг.8.5):

- захващаща част 1;
- шийка 2;
- предна направляваща част 3;
- режеща част 4;
- калибровача част 5;
- задна направляваща част 6;
- поддържаща шийка 7.



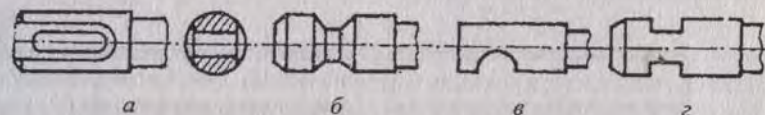
Фиг.8.5. Устройство на цилиндрична протяжка

Конструкцията на режещата част на протяжката зависи от приетата схема на рязане - профилна, генераторна или групова. Общият брой z_p на режещите зъби се определя в зависимост от прибавката за обработване z и подаването на зъб s_z :

$$z_p = \frac{z}{2 \cdot s_z} + (2 \dots 4). \quad (8.1)$$

Калибровачата част заглажда грапавините, оставени от режещите зъби, и придава окончателната форма на обработваната повърхнина. Броят на калибровачите зъби е от 4 до 8 в зависимост от точността на обработваната повърхнина.

Формата на захващащата част на протяжките е показана на фиг.8.6. С тази част протяжката се съединява с плъзгача (тегления възел) на протеглящата машина. Захващането се извършва чрез ръчно поставян призматичен клин или специални патронници.



Фиг.8.6. Форми на захващащата част на протяжките

Диаметърът на захващащата част е по-малък от диаметъра на обработвания отвор с 0,5 mm.

Шийката и предният конус свързват захващащата част с предната направляваща част. Дължината на шийката трябва да бъде такава, че в изходно положение захващащата част с патронника да се намират от едната страна на масата на машината, а направляващата част - от другата. Дължината на преходния конус е 10...25 mm.

Предната направляваща част служи за базиране (ориентиране) на заготовката относно работната част на протяжката. Дължината и се приема равна на дължината на обработваната повърхнина, но не трябва да бъде по-малка от 20 mm.

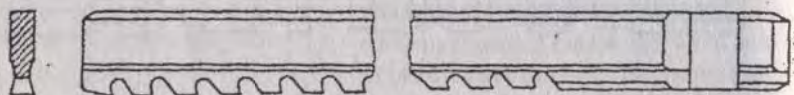
Задната направляваща част предотвратява изместването на заготовката при излизането на калибровачите зъби от обработваната повърхнина. Ако тази част липсва, заготовката може да се измести и тогава калибровачите зъби ще се врежат в обработената повърхнина. Формата на задната направляваща част може да се приеме еднаква с формата на обработваната повърхнина. При симетрични профили тя може да бъде кръгла.

Поддържащата шийка служи за задна опора на протяжката. Тя се предвижда за протяжки с големи дължина и маса, при които има опасност от еластични деформации (провисване). При работа на вертикално-протеглящи машини връщането на протяжките назад може да се извърши с автоматичен патронник. В такива случаи се предвижда задна захващаща част, подобна на предната.

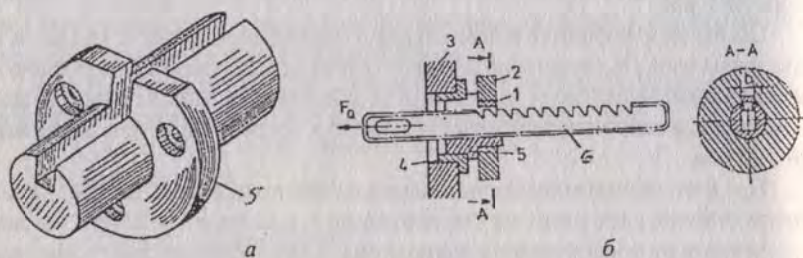
Общата дължина на протяжката се получава като сума от дължините на всичките и части. Общата дължина на протяжката не може да превишава определена допустима стойност, зависеща от максималния ход на плъзгача на машината, стабилността на конструкцията на протяжката и технологичните възможности за изработването и. Ако общата дължина на протяжката надвишава допустимата стойност, протяжката се разделя на няколко отделни части, т.е. изработва се

комплект протяжки.

Когато се изисква чрез протеглянето да се осигури висока точност на разположение на протегляната повърхнина спрямо други повърхнини, обработваният детайл се установява чрез специални приспособления. Например, при протегляне с шпонкова протяжка (фиг.8.7) за да се осигури точното разположение на канала спрямо отвора на обработвания детайл (фиг.8.8а) протяжката се води по специален направляващ дорник (фиг.8.8б). Този случай се нарича координатно или несвободно протегляне.



Фиг.8.7. Шпонкова протяжка



Фиг.8.8. Несвободно (координатно) протегляне

1 – прибавка за обработване; 2 – обработван детайл; 3 – маса на машината;
4 – направляваща втулка; 5 – направляващ дорник; б – шпонкова протяжка

Протяжките за външно протегляне обикновено се използват за обработване на повърхнини на лети и ковани заготовки, от които се свалят големи прибавки. Тези протяжки работят по същите схеми на рязане, както и протяжките за вътрешно протегляне. Изработват се цели и сглобяеми.

8.3. Режими на рязане

Елементите на режима на рязане при протегляне са скоростта на рязане, подаването на зъб, дълбочината на рязане, дебелината и широчината на срязвания слой.

Скоростта на рязане е скоростта на относително преместване на протяжката и заготовката. Скоростта на рязане v , времето на работния ход T_p и дължината на работния ход L_p са свързани с формулата

$$v = \frac{L_p}{1000 \cdot T_p}, m/min. \quad (8.2)$$

Дължината на работния ход L_p се определя по формулата

$$L_p = (l + 1,5 \cdot L), mm, \quad (8.3)$$

където L е дължината на обработваната повърхнина; l – дължината на протяжката.

Подаването на зъб s_z се получава от разликата в размерите на зъбите по дължината на протяжката. Дълбочината на рязане t е равна на широчината на срязвания слой b . Тази широчина се определя в зависимост от формата на обработваната повърхнина и схемата на рязане. Например, при протегляне на кръгъл отвор по профилната схема $t = \pi \cdot D$ (D е диаметърът на отвора).

В процеса на рязане участват едновременно няколко зъба z_e . Техният брой се определя по формулата

$$z_e = \frac{L}{P}, \quad (8.4)$$

където P е стъпката на зъбите. Получената при изчисленията стойност се закръглява до по-голямото цяло число.

При протегляне върху всеки зъб на протяжката действа сила на рязане, която се разлага на радиална и тангенциална съставни. Радиалните съставни обикновено са малки и при обработване на симетрични повърхнини се уравновесяват.

Тангенциалната съставна е насочена срещу движението на протяжката и преодолява съпротивлението на обработвания материал. Тази сила за разлика от другите процеси на рязане е много голяма, достига стойности до стотици килоютони. За осъществяване на процеса на рязане тя трябва да е по-малка от теглителната сила F_Q . По големината на тази сила се подбира протеглящата машина. Тъй като в паспортите на протеглящите машини е дадена силата F_Q , при протегляне не е необходимо да се изчислява мощността на рязане.

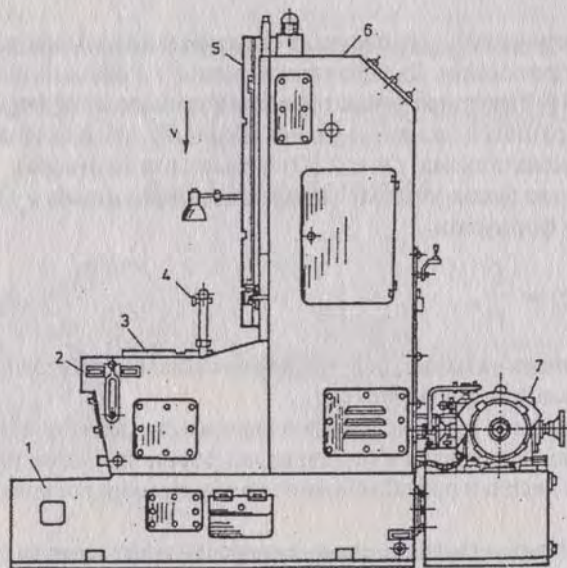
8.4. Протеглящи машини

Според вида на обработваната повърхнина протеглящите машини се подразделят на машини за вътрешно и външно протегляне, а според разположението на основните възли – на вертикални и хоризонтални.

- Основните параметри на протеглящите машини са: максимална сила на протегляне – достигаща 300-400 кN за среден типоразмер машини и до 1200 кN за голямогабаритни машини;
- максимална дължина на протегляне – от 350 до 2000 mm при машините

с общо предназначение.

На фиг.8.9 е показан външният вид на вертикална машина за вътрешно протегляне. Върху основата 1 е монтирано тялото 2, върху което е поставена масата 3 за установяване на обработвания детайл. Протяжката се установява в патронник, който се движи чрез количка по вертикалните направляващи 5 на колоната 6. Работният ход е отгоре надолу. Отдясно на машината е разположен хидроприводът 7. MOT се подава през дюзата 4.



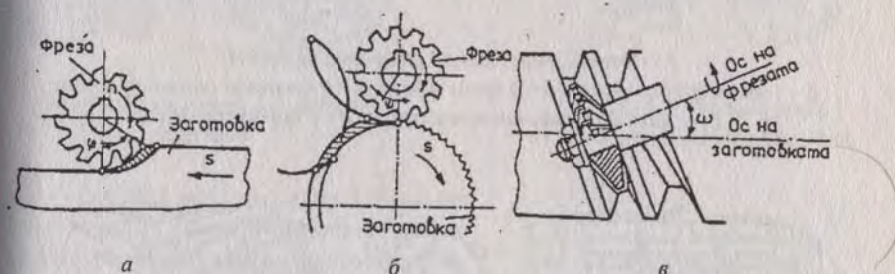
Фиг.8.9. Вертикално-протегляща машина
1 - основа; 2 - тяло; 3 - масата; 4 - дюза за подаване на MOT;
5 - вертикалните направляващи; 6 - колона; 7 - хидрозадвижане

Глава 9 ФРЕЗОВАНЕ

9.1. Кинематични схеми

Фрезването е един от най-разпространените методи за обработване в машиностроенето. По производителност фрезването надминава струговането и стъргането и отстъпва само на протеглянето. Това се дължи преди всичко на едновременната работа на множество режещи зъби, тъй като фрезите са многозъбни инструменти. Нормално при фрезозане се постига 9...11 степен на точност и граповост $R_a = 5 \dots 2,5 \mu m$. Кинематиката на процеса на рязане при фрезозане се характеризира с въртливо главно движение на инструмента и постъпателно, въртливо или комбинирано (винтово) подавателно движение.

При постъпателно подавателно движение (фиг.9.1а) се извършва обработването на различни повърхнини и комбинации от повърхнини: равнинни повърхнини, канали и профилни повърхнини (фиг.9.2). При въртливо подавателно движение се обработват външни и вътрешни цилиндрични повърхнини (фиг.9.1б), а при винтово подавателно движение - винтови повърхнини, например, резби (фиг.9.1в).



Фиг.9.1. Кинематични схеми на фрезозане

9.2. Режещи инструменти

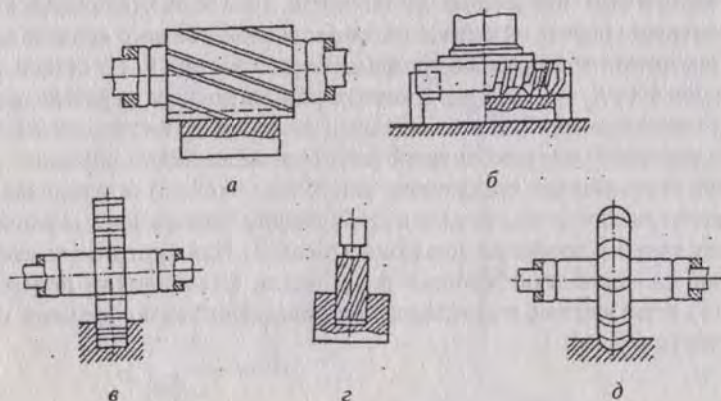
Фрезите се класифицират по следните основни признаци:

- по формата на повърхнините, върху които са разположени зъбите - цилиндрични, челни, челно-цилиндрични, дискови, конусни, профилни, червячни;
- по начина на установяване към машината - дорникови и опашкови;
- по формата на зъбите - острозаточени и затиловани (с кръгови задни повърхнини, с винтови задни повърхнини).

Фрезите се изработват цели, съставни и сглобяеми от инструментална

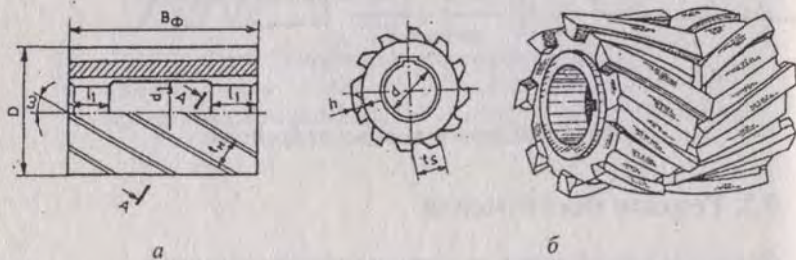
стомана, металокерамика, минералокерамика и свръхтвърди материали.

Цилиндричните фрези (фиг.9.3а) се използват за обработване на равнинни повърхнини на хоризонтално-фрезови машини. Те са с прави или винтови зъби. По-голямо разпространение са получили цилиндричните фрези с винтови зъби, тъй като работят по-плавно. Фрезите с прави зъби се използват за обработване на тесни повърхнини, където предимството на фрезите с винтови зъби не се проявява съществено.



Фиг.9.2. Фрезование с надлъжно подаване

а – с цилиндрична фреза; б – с челна фреза; в – с прорезна (канална) фреза; г – с цилиндрична опашкова фреза; д – с профилна фреза



Фиг. 9.3. Цилиндрична фреза

При работа с цилиндрични фрези с винтови зъби възникват осови сили, които при наклон на зъбите $\omega = 30^\circ \dots 45^\circ$ имат значителни стойности. За уравновесяване на тези сили се използват вдвоени цилиндрични фрези (фиг.9.3б), винтовите зъби на които имат еднакви наклони, но различно направление.

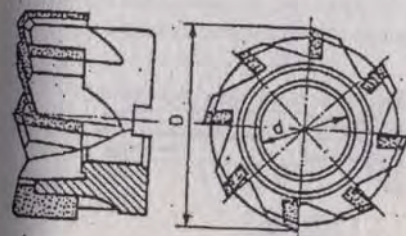
Цилиндричните фрези се изработват монолитни от бързорежеща стомана,

съставни със запоени твърдосплавни пластини и сглобяеми със зъби от бързорежеща стомана или твърда сплав.

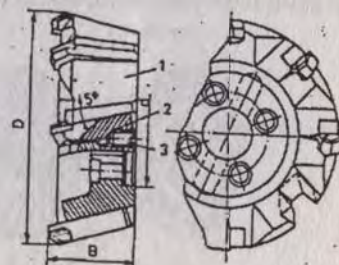
Челните фрези се използват за обработване на равнинни повърхнини върху всички видове фрезови машини. В тези фрези профилиращи са вертикалните режещи ръбове на зъбите, а челните са само спомагателни.

Челните фрези са по-масивни и по-стабилни от цилиндричните, а процесът на рязане с тях е по-плавен. Челното фрезование осигурява по-голяма производителност от цилиндричното, затова е по-разпространено.

Челните фрези се изработват предимно съставни и сглобяеми. Материалът на режещата част е бързорежеща стомана, металокерамика или минералокерамика. На фиг.9.4 е показана челна фреза със запоени твърдосплавни пластини 1, а на фиг.9.5 – с механично закрепени ножове. Ножовете 2 се закрепват към тялото 1 с винтовете 3.



Фиг.9.4. Челна фреза със запоени пластини

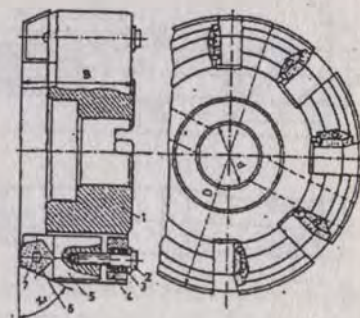


Фиг.9.5. Челна фреза с механично закрепени ножове

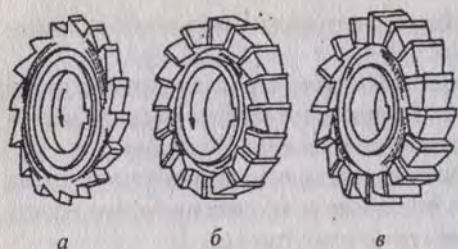
Особено широко разпространение имат челните фрези с механично закрепени сменяеми пластини с различна форма – квадратна, петстенна и кръгла. Пластините б (фиг.9.6) се закрепват към ножовете 5 с щифтовете 7. Ножовете от своя страна се закрепват към тялото 1 с винтовете 2 през пръстена 3. Пружината 4 служи за удобство при сглобяване.

Дисковите фрези (фиг.9.7) се използват за фрезование на канали и стъпала. Те са канални, двустранни и тристранни с прави или наклонени зъби.

Ъгловите фрези (фиг.9.8) се използват за обработване на ъглови канали и наклонени равнини. Едноъгловите фрези (фиг.9.8а) имат режещи ръбове, раз-

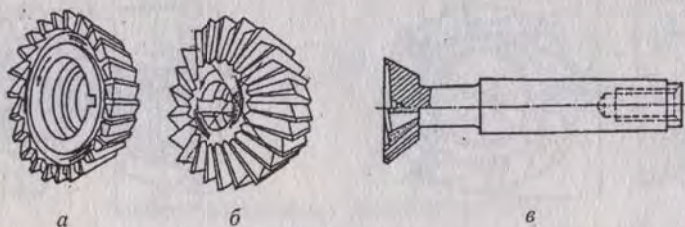


Фиг.9.6. Челна фреза с механично закрепени пластини

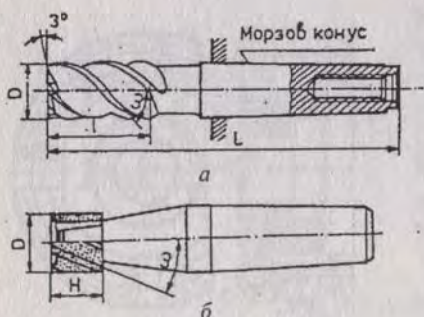


Фиг.9.7. Дисклови фрези

контурно фрезване. Опашките им са цилиндрични или конусни. Рязането се извършва основно от главните режещи ръбове, разположени върху цилиндричната повърхнина. Спомагателните режещи ръбове са разположени върху челото и само зачистват дъното на обработвания канал.



Фиг.9.8. Ъглови фрези



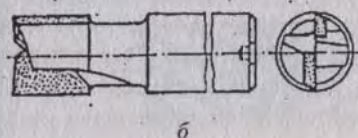
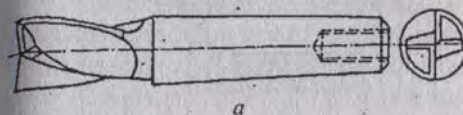
Фиг.9.9. Цилиндрични опашкови фрези

ните режещи ръбове. Затова единият от тях трябва да достига до оста на фрезата, за да се осигури пробиването на отвор.

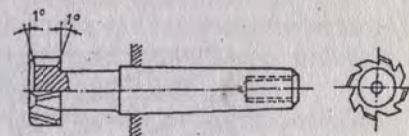
положени върху челото и конусната повърхнина, а двуъгловите (фиг.9.8б) - върху две съседни конусни повърхнини. Ъгловите фрези с малки размери се изработват с цилиндрична или конусна опашка (фиг.9.8в).

Цилиндричните опашкови фрези (фиг.9.9) се използват за обработване на дълбоки канали и стъпала в корпусни детайли и за

За обработване на Т-образни канали, често срещани в машините, се използват Т-образни фрези (фиг.9.11). Тези фрези имат зъби по двете чела и по цилиндричната повърхнина.

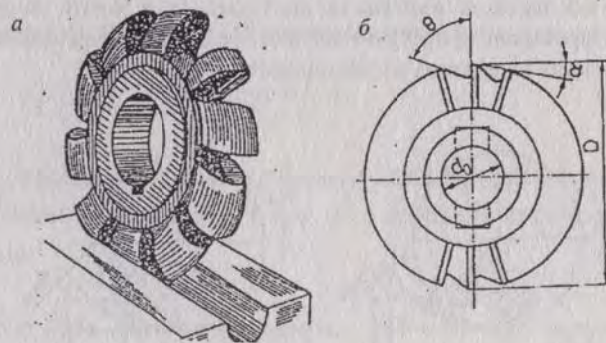


Фиг.9.10. Двужъбна (шпонкова) фреза а - от бързорежеща стомана; б - със запоеани твърдосплавни пластини



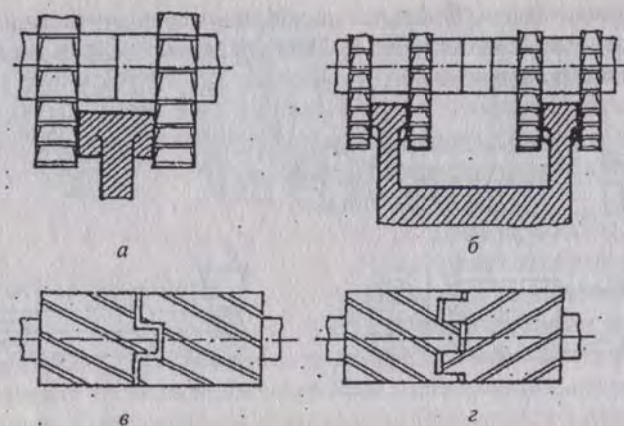
Фиг.9.11. Фреза за Т-образни канали

За обработване на профилни повърхнини се използват профилни фрези със затиловани (фиг.9.12а) или острозаточени (фиг.9.12б) зъби.



Фиг.9.12 Профилни фрези

За обработване на съвкупност от няколко повърхнини се използват набори от няколко фрези, установени върху общ дорник (фиг.9.13а,б). Разстоянията между образуващите на отделните повърхнини в този случай се осигуряват от размерите на фрезите. Зъбите на фрезите в набора трябва да се застъпват. Това се осигурява чрез подходяща конструкция на фрезите (фиг.9.13в,г).

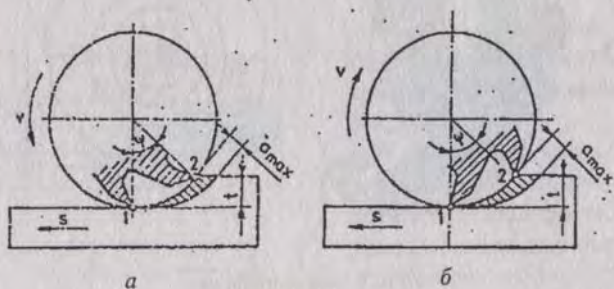


Фиг.9.13. Фрезование с комплект от фрези

9.3. Режими на рязане

Процесът на фрезование може да се извършва по две схеми: с насрещно и еднопосочно подаване.

При фрезование с насрещно подаване (фиг.9.14а) посоката на подаването е обратна на посоката на въртене на инструмента в зоната на рязане. При еднопосочно фрезование (фиг.9.14б) посоката на подаването в зоната на рязане съвпада с посоката на въртене на инструмента (фиг.9.14б).



Фиг.9.14. Насрещно (а) и еднопосочно (б) фрезование

При *насрещно* фрезование дълбочината на рязане се изменя от нула до максималната стойност (от т.1 до т.2 на фиг.9.14а). Едновременно в рязането участват обикновено няколко зъба, това предпазва от възникването на удари и трептения. При това силите на рязане са разположени така, че се опитват да откъснат заготовката от приспособлението.

При фрезование с еднопосочно подаване зъбът на фрезата започва да работи с максималната дълбочина на рязане и следователно с максимално натоварване (от т.2 до т.1 на фиг.9.14б). Силите на рязане притискат заготовката към приспособлението.

По-широко се използва насрещното фрезование. Еднопосочното фрезование се препоръчва за чисто обработване и при работа върху машини с малка хлабина в съединението "ходов винт-гайка".

Скоростта на рязане при фрезование се определя по формула 6.2.

Подаването на оборот ($s, mm/об$) съответства на преместването на заготовката относно инструмента за един негов оборот. Освен това се работи с подаване на зъб и минутно подаване (вж. формули 6.3 и 6.8).

Широчината на фрезование B при цилиндрично фрезование (вж.фиг.9.2а) е равна на широчината на обработваната повърхнина, измерена успоредно на оста на фрезата и перпендикулярно на направлението на подаването. При челно фрезование B е равна на широчината на обработваната повърхнина, измерена перпендикулярно на оста на фрезата и направлението на подаването (вж.фиг.9.2б).

Мощността на рязане P_p зависи от силата F_z и скоростта на рязане и се определя по формулата

$$P_p = \frac{F_z \cdot v}{60 \cdot 102}, kW. \quad (9.1)$$

Силата на рязане F_z се определя по емпиричната формула

$$F_z = C_{F_z} s_z^{x_{F_z}} t^{y_{F_z}} z B D^{-q_{F_z}}, N, \quad (9.2)$$

където C_{F_z} е коефициент, характеризиращ условията на работа. Коефициентът C_{F_z} и степенните показатели x^{F_z} и y^{F_z} се определят от технологичните справочници.

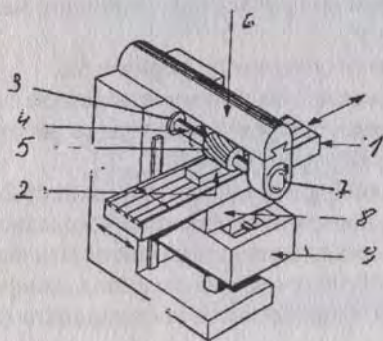
9.4. Видове фрезови машини

Фрезовите машини се разделят на универсални, специализирани и специални. Към универсалните се отнасят хоризонтално-фрезовите, вертикално-фрезовите и надлъжно-фрезовите машини, към специализираните - копирно-фрезовите, резбофрезовите, каруселно-фрезовите и др. Специалните фрезови машини се използват за изпълнение само на една или няколко операции в едросерийното и масовото производства.

Основен параметър на фрезовите машини е широчината на работната маса, която определя габаритните размери на обработвания детайл.

9.4.1. Хоризонтално-фрезови машини

На фиг.9.15 е показана схема на хоризонтално-фрезова машина. Инструментът 5 се установява чрез дорника 4 във вретеното 3, от другата страна дорникът е лагериран в подвижната опора 7 на гредата (хобота) 6. Обработваният детайл 2 се поставя върху масата 1, която извършва подавателни движения в надлъжна, напречна и вертикална посока чрез напречната шейна 8 и вертикалната шейна (конзола) 9.



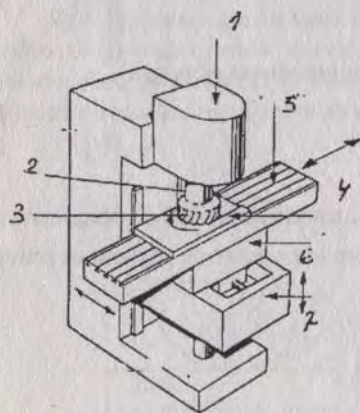
Фиг. 9.15. Хоризонтално-фрезова машина

При някои фрезови машини масата може да се завърта около вертикална ос на $\pm 45^\circ$, в този случай те се наричат "универсални фрезови машини". Ако към тези машини може да се монтира вертикална фрезова глава, те се наричат "широко универсални фрезови машини".

9.4.2. Вертикални фрезови машини

Вертикално-фрезовите машини са конзолни и безконзолни. Безконзолните се използват за обработването на голямогабаритни детайли. Широчината на масата при тях е 630, 800 и 1000 mm.

На фиг.9.16 е показана схема на вертикално-фрезова машина. Инструментът 3 се установява във вретеното 2 на фрезовата глава 1. Обработваният детайл 4 се поставя върху масата 5, която извършва подавателни движения в надлъжна, напречна и вертикална посока чрез напречната шейна 6 и вертикалната шейна (конзола) 7.



Фиг. 9.16. Вертикално-фрезова машина

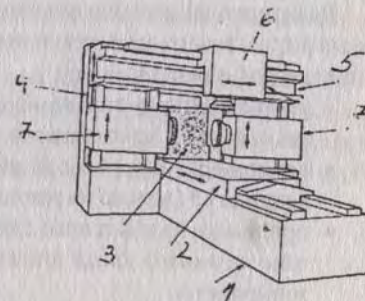
9.4.3. Надлъжно-фрезови машини

Надлъжно-фрезовите машини са предназначени за обработване на равнинни и профилни повърхнини предимно на голямогабаритни детайли подобно на надлъжно-стъргателните машини (вж.гл.7). Конструктивно надлъжно-фрезовите машини са едно- или двустойкови, едно- или многовретенни. Масата

с обработвания детайл извършва само надлъжно преместване. Установъчните премествания се извършват от вретенните глави.

Широчината на масата на надлъжно-фрезовите машини се намира е от 320 до 5000 mm, а дължината - от 1000 до 12500 mm. Всички преводи в тези машини са с независимо задвижване.

На фиг.9.17 е показана двустойкова надлъжно-фрезова машина. Обработваният детайл (детайли) 3 се установява върху масата 2, преместваща се по направляващите на тялото 1. Върху тялото 1 са монтирани две вертикални стойки 4, които са свързани с хоризонтална греда 5. По гредата се премества хоризонталния супорт 6 с вертикална ос на вретеното. На стойките 4 са разположени два вертикални супорта 7 (с хоризонтални оси на вретената). Хоризонталната греда 5 може да се премества във вертикална равнина по стойките 4.



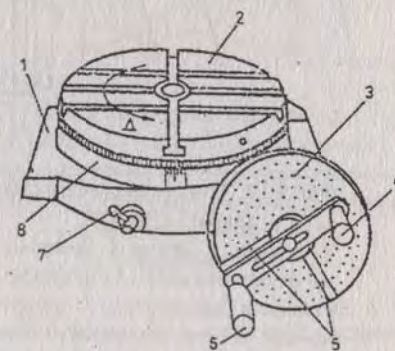
Фиг. 9.17. Двустойкова надлъжно-фрезова машина

9.4.4. Приспособления към универсалните фрезовите машини

Най-често използваните приспособления за установяване на обработваните детайли върху универсални фрезови машини са стиските, делителните маси и делителните апарати.

Делителна маса. Делителните (въртящи се) маси се използват за позициониране или извършване на кръгово подавателно движение около вертикална ос. Те могат да бъдат с ръчно или механично задвижване или със задвижване от собствен електродвигател. Делителните маси с ръчно управление се изработват с диаметър на масата от 320, 400, 500 и 630 mm. Тези маси имат две червячни предавки: едната за ръчно, другата - за механично завъртане на планшайбата чрез превода на машината.

На фиг. 9.18 е показан общият вид на кръгла делителна маса КДМ 320. Тази маса е с ръчно задвижване. Тялото 1 се закрепва върху масата на машината. Обработваният детайл се установява върху планшайбата 2, която може да се

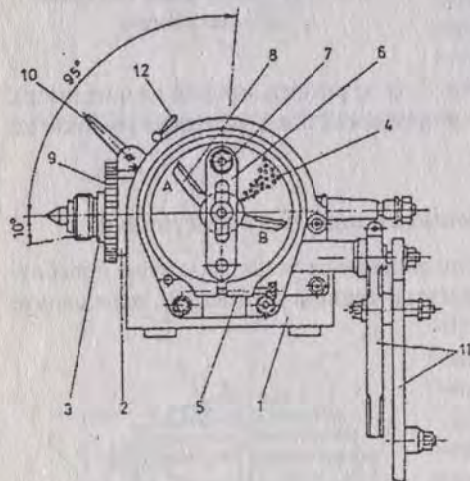


Фиг.9.18. Кръгла делителна маса КДМ 320

върти около собствената си ос. Отчитането на ъгъла на завъртане се осъществява чрез скалата 8 (при установъчно делене) или делителния диск 3 (при по-точно позициониране).

Делителен апарат. Делителният апарат е основна принадлежност на фрезевите машини и значително разширява технологичните им възможности. Делителният апарат се използва за:

- установяване на оста на обработвания детайл под определен ъгъл спрямо масата на машината в хоризонтална равнина;
- периодично завъртане на обработвания детайл около оста му на определен ъгъл (делене на равни или неравни части);
- придаване на въртливо движение на обработвания детайл при нарязване на винтов канал или винтови зъби на зъбни колела по метода на копирането.



Фиг. 9.19. Универсален делителен апарат УДА 130.

- 1 - основа; 2 - тяло; 3 - вретено;
4 - делителен диск; 5 - пръстен;
6 - делителна ръкохватка; 7 - фиксатор;
8 - ножица; 9 - спомагателен делителен диск; 10 - спомагателен фиксатор;
11 - лира; 12 - ръкохватка

Зъбните предавки в делителния апарат са с предавателно отношение единица, предавателното отношение на червячната предавка е 1/60 и се нарича *характеристика* на делителния апарат. Характеристиката показва, колко оборота трябва да направи червякът

На фиг. 9.19. е показан универсалният делителен апарат УДА 150.

Основата 1 се закрепва към масата на машината. Тялото 2 може да се завърта около хоризонтална ос на ъгъл от -10° до $+95^{\circ}$. Делителният апарат има два диска 4 и 9, с помощта на които може да се извършва просто, обикновено и диференциално делене.

При *простото делене* с помощта на спомагателния делителен диск 9 окръжността може да се раздели на 2, 3, 4, 6, 8, 12 и 24 равни части. За тази цел по периферията на диска са изработени 24 трапецовидни канала, в които влиза палецът на фиксатора 10.

От двете страни на делителния диск 4 са пробити множество глухи отвори, разположени по 22 концентрични окръжности (11 от всяка страна). Броят на отворите на всяка окръжност е различен.

Зъбните предавки в делителния апарат са с предавателно отношение единица, предавателното отношение на червячната предавка е 1/60 и се нарича *характеристика* на делителния апарат. Характеристиката показва, колко оборота трябва да направи червякът

(ръкохватка 92), за да се завърти вретеното 3 заедно със заготовката на един пълен оборот.

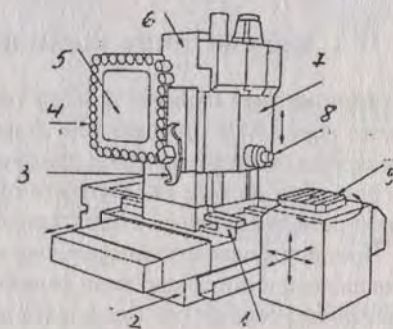
При *обикновеното делене* окръжността може да се раздели на части, кратни на броя на отворите на 22-те окръжности на делителния диск 4 или на характеристиката на делителния апарат.

Ако окръжността трябва да се раздели на части, които не са кратни на броя на отворите или на характеристиката на делителния апарат, се извършва диференциално делене. За тази цел се използва лирата 11 със сменни зъбни колела. По такъв начин се изменя характеристиката на делителния апарат до необходимата стойност.

9.4.5. Обработващи центри

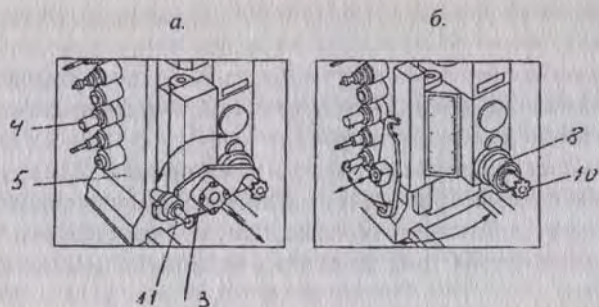
Обработващите центри са предназначени за обработване на призматично-корпусни детайли при много висока концентрация на технологичните преходи и автоматично управление на процеса, включително автоматична смяна на инструментите. Компановките и технологичните възможности на обработващите центри са различни, в това отношение те са развитие на фрезевите, вертикално-пробивните и хоризонтално-разстъргващите машини.

На фиг. 9.20 е показан обработващ център с хоризонтално вретено. По компоновка той е подобен на хоризонтално-разстъргваща машина. Върху тялото 2 е установена масата 1, преместваща се по оста X. По направляващите на масата по оста Z се премества стойката 6, а по направляващите на стойката по оста Y се премества вретеният супорт 7 с вретеното 8. Обработваният детайл се установява върху въртящата се маса 9. Инструментите 4 са разположени в определен ред в инструменталния магазин 5. Смяната на инструментите във вретеното е показана на (фиг. 9.21а, б). Докато инструментът 10, установен във вретеното 8, работи, манипулаторът 3 взема нов инструмент 11 от инструменталния магазин. След като приключи работата с инструмента 10, той се заменя с инструмента 11.



Фиг. 9.20. Обработващ център

- 1 - маса; 2 - тяло; 3 - манипулатор;
4 - инструменти; 5 - инструментален магазин;
6 - стойка; 7 - вретенен супорт;
8 - вретено; 9 - инструмент;
10 - въртяща маса



Фиг.9.21. Схема на смяна на инструментите

Глава 10

ШЛИФОВАНЕ И ДОВЪРШВАЩО ОБРАБОТВАНЕ

10.1. Кинематични схеми на обработване

Абразивните методи за обработване са: шлифование с шлифовъчни дискове, абразивни шкурки или свободен абразив; хонинговане; суперфиниширане (свръхзаглаждане); притриване.

Към абразивните инструменти спадат *шлифовъчните дискове, глави, брусове, сегменти, ленти, пасти, прахове.*

Чрез шлифование с шлифовъчни дискове се обработват външни и вътрешни цилиндрични повърхнини, равнинни и профилни повърхнини. Главното движение е въртливо и се извършва от шлифовъчния диск. За един проход при шлифоването обикновено се сваля слой материал с много по-малка дебелина от прибавката за обработване, поради което се налага обработването да се извършва за множество проходи.

Кинематичните схеми за обработване на външни цилиндрични повърхнини (*външно кръгло шлифование*) са показани на фиг.10.1. За да се шлифова цилиндричната повърхнина по цялата и дължина, обработваният детайл извършва две движения: въртливо (кръгово подаване s_1) и възвратно-постъпателно (надлъжно подаване s_2) (фиг.10.1а). Този вид обработване се нарича *външно кръгло шлифование с надлъжно подаване*. Използва се за обработване на повърхнини с дължина, по-голяма от широчината на шлифовъчния диск.

Линейната скорост на точките от обработваната повърхнина в резултат на въртелното движение е по-голяма, отколкото линейната скорост на постъпателното движение. След всеки двоен ход се извършва преместване на диска към обработваната повърхнина на дълбочината на рязане t .

Грубо обработване с надлъжно подаване може да се извърши и само за

един проход (фиг.10.1б) с голяма дълбочина на рязане и малко надлъжно подаване. В този случай дискът е скосен или стъпален.

За обработване на повърхнини с малка дължина се използва *врязно шлифование* (фиг.10.1в). При този метод детайлът извършва само въртливо движение (кръгово подаване s_1), а шлифовъчният диск се премества непрекъснато към оста на заготовката (напречно или радиално подаване s_2).

При *безцентровото шлифование* (фиг.10.1г) обработваният детайл се установява между два абразивни диска върху опорен нож. Единият абразивен диск е водещ, другият – шлифовъчен. Шлифовъчният диск се върти с честота n , водещият – с честота n_1 . В резултат на това заготовката получава въртене с честота n_2 . Обработването се извършва с надлъжно или напречно подавателно движение.

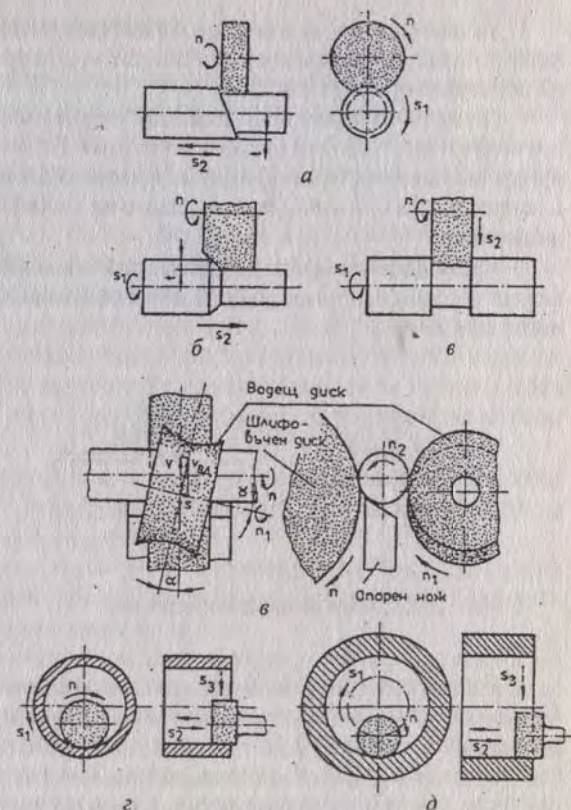
При обработването с надлъжно подавателно движение оста на водещия диск е наклонена под ъгъл α по отношение на оста на шлифовъчния диск. За сметка на този наклон се реализира надлъжното преместване на обработвания детайл с подаване s_1

$$s_1 = v_{\omega} \cdot \sin \alpha, \text{ mm/min}, \quad (10.1)$$

където v_{ω} е периферната скорост на водещия диск.

Бесцентровото шлифование с напречно подавателно движение е *врязно шлифование*, при което водещият диск се премества радиално с подаване s_2 за един оборот на заготовката.

Вътрешно кръгло шлифование се осъществява чрез *надлъжно подавателно движение* (фиг.10.1д) или с *напречно подавателно движение* (врязно шлифование) (фиг.10.1е).

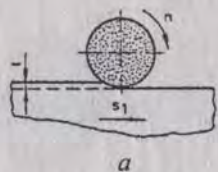


Фиг.10.1. Схеми на кръгло шлифование

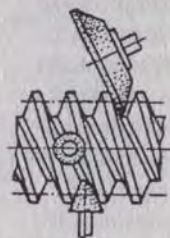
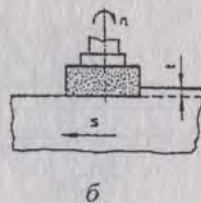
За шлифование на отвори в голямогабаритни детайли се използва планетарно шлифование, при което вретеното със шлифовъчния диск обхожда отвора по образуващата окръжност.

Плоското шлифование се реализира по две схеми: с периферията (фиг.10.2а) и с челото (фиг.10.2б) на шлифовъчния диск. При шлифование с периферията на шлифовъчния диск се извършват още две подавателни движения – надлъжно s_1 и напречно s_2 , а при шлифование с челото на диска - едно надлъжно подавателно движение s .

Чрез синхронизиране на подавателните движения и създаване на специална форма на шлифовъчния диск се обработват винтови (фиг.10.3) и профилни повърхнини.

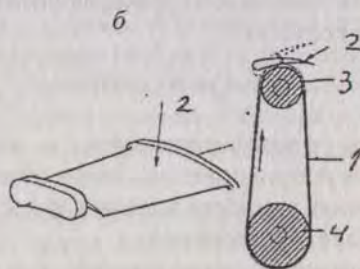
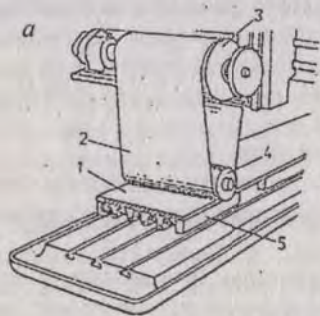


Фиг.10.2. Схеми на плоско шлифование



Фиг.10.3. Схема на винтово шлифование

Голяма производителност се постига при шлифование с абразивни ленти. По тази схема могат да се шлифоват както равнинни, така и сложни профилни повърхнини. На фиг.10.4а е показана схема на шлифование на равнинна повърхнина с безкрайна абразивна лента. Лентата 1, задвижвана от вала 4, се притиска към обработвания детайл 2 от водимия гумирания вал 3. Усилието на притискане на лентата към обработвания детайл се възприема от плочата 5. На фиг.10.4б е показана схема на шлифование на профилна повърхнина. Точността на обработване с абразивна лента е по-малка от точността при шлифование с шлифовъчни дискове. Тази схема е получила широко разпространение и за полиране на повърхнините на детайлите.



Фиг.10.4. Шлифование с абразивна лента

10.2. Абразивни инструменти

Шлифовъчните дискове представляват ротационни тела с различна форма. Съставени са от абразивен прах, отделните зърна на който са здраво свързани едно с друго чрез материал, наречен *свързка*. Характеризират се с материала и зърнистостта на абразива, материала и процентното съдържание на свързката и с плътността на структурата си.

Свързките се делят на две групи - *неорганични* (керамична, силикатна, магнезитна) и *органични* (бакелитова, вулканитова и др.). Използват се главно керамичната, бакелитовата и вулканитовата свързка.

Най-разпространена е *керамичната* свързка. Но инструментите, изработени с такава свързка, имат малка еластичност и голяма крехкост. Дисковете с керамична свързка не могат да работят с големи скорости на рязане. Освен това с тази свързка не могат да се изработват дискове с голям диаметър и малка дебелина.

Абразивните инструменти с *бакелитова* свързка са по-еластични, но имат намалена топлоустойчивост. Използват се за работа с по-големи скорости на рязане главно при разрязване и отрязване.

Вулканитовата свързка се състои от вулканизиран каучук и други елементи. Инструментите с такава свързка имат голяма еластичност. Използват се за чисто шлифование, отрязване и разрязване.

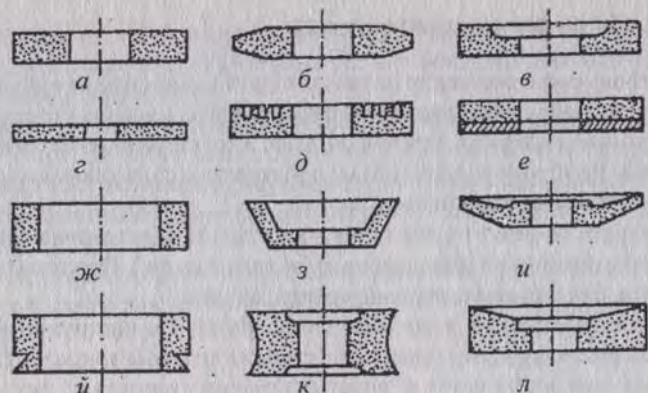
Твърдостта на шлифовъчните дискове се характеризира със съпротивлението, което свързката оказва срещу изкъртването на абразивните зърна от повърхността на инструмента под действието на силите на рязане. С увеличаване на процентното съдържание на свързката твърдостта се увеличава. Твърдостта трябва да бъде такава, че след износване на абразивните зърна те да се откъртват, за да започнат да режат неизносените зърна от следващия слой.

Структурата на инструмента се характеризира с обемното съотношение между абразивните зърна, свързката и порите.

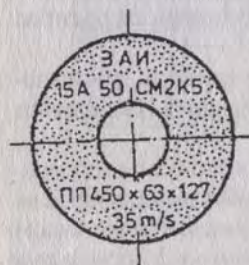
Според геометричната форма абразивните дискове се делят на:

- плоски дискове с прав профил (ПП) (фиг.10.5а);
- плоски дискове с конусен профил (ПК) (фиг.10.5б);
- плоски дискове с вдлъбнатини (ПВ) (фиг.10.5в);
- тесни дискове (фиг.10.5г);
- плоски набраздени дискове (фиг.10.5д);
- плоски усилен дискове (фиг.10.5е);
- гривни (фиг.10.5ж,к);
- чаши (фиг.10.5з);
- тарелки (фиг.10.5и,м);
- специални (фиг.10.5л).

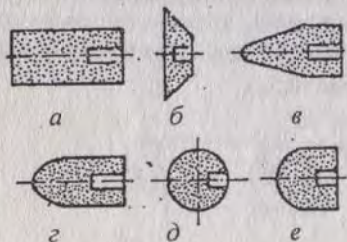
За по-лесно разпознаване абразивните инструменти се маркират. Маркировката включва: завода-производител, основните характеристики на инструмента, формата и габаритните му размери и допустимата скорост на рязане. На фиг.10.6 е показан шлифовъчен диск с маркировка, означаваща:



Фиг. 10.5. Форми на абразивни дискове



Фиг. 10.6. Маркировка на абразивен диск



Фиг. 10.7. Шлифовъчни глави

За ръчно заглаждане и за изработване на инструменти за машинно заглаждане - хонинговане и суперфиниширане - се използват абразивни брусове. Те имат призматична форма с различно напречно сечение (фиг. 10.9).

ЗАИ - завод за абразивни инструменти;
15А50СМ2К5 - електрокорунд нормален 15А, зърнестост 50, средно мек втора степен СМ2, керамична свързка К, структура 5;

ПП450x63x127 - форма ПП, външен диаметър 450 mm, ширина 63 mm, диаметър на базиращия отвор 127 mm;

35 m/s - допустима скорост на рязане.

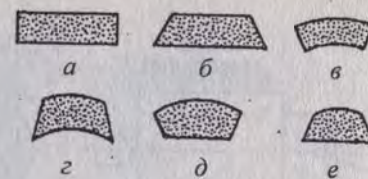
За вътрешно кръгло шлифование се използват абразивни инструменти с малки размери (съобразно с размерите на обработваните отвори).

Наричат се шлифовъчни глави (фиг. 10.7). Шлифовъчните глави се използват и за зачистване и шлифование на сложни повърхнини, притъпяване на остри ръбове и др. В последния случай задвижването им се осъществява с гъвкав вал.

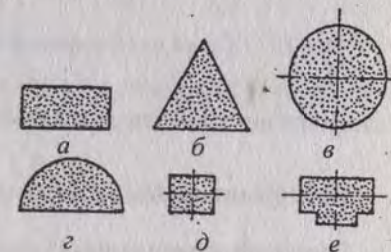
Освен цели шлифовъчни дискове за шлифование на равнинни повърхнини се използват сглобяеми дискове. Тези дискове се изработват от отделни абразивни сегменти, представляващи призматични тела с различна форма (фиг. 10.8).

На фиг. 10.10а е показан инструмент за хонинговане (хонинговъчна глава или накратко хон) за отвори с диаметър 6...20 mm.

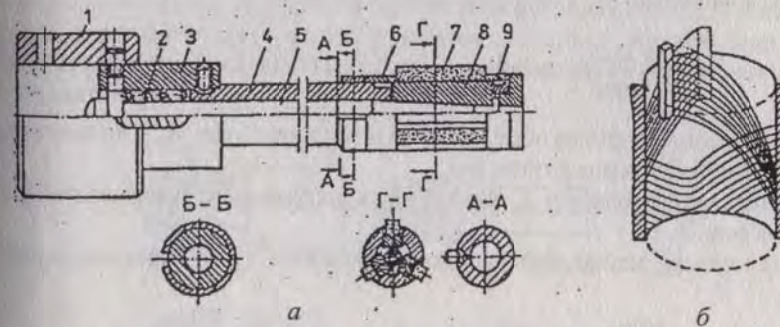
Главата се състои от тяло 4, в което се премества подавателния вал 5. В предния край на тялото има правоъгълни канали. В каналите се преместват вложките 8 със закрепени към тях абразивни брусчета 7. Вложките 8 се притискат към конусната част на вала 5 от разрязаните чугунени пръстени 6 и 9. Главата е закрепена към вретеното на машината (на фигурата не е показано) с устройство карданен тип, състоящо се от втулките 1 и 3 и пружината 2. През време на работа хидравличен прът, намиращ се във вретеното на машината, въздейства върху сферичния край на вала 5, а той с конусната си част притиска абразивните брусчета към обработваната повърхнина. Хонинговъчната глава заедно с вретеното на машината извършва две синхронизирани движения - възвратно-постъпателно и въртливо. При съчетаването на двете движения върху обработваната повърхнина абразивните зърна оставят характерни пресичащи се линии (фиг. 10.10б).



Фиг. 10.8. Абразивни сегменти



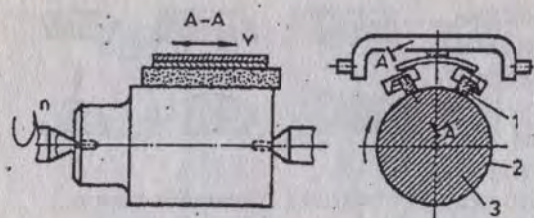
Фиг. 10.9. Абразивни брусове



Фиг. 10.10. Инструмент за хонинговане (хон, хонинговъчна глава)

Хонинговането се използва за довършващо обработване на цилиндрите на двигателите с вътрешно горене.

На фиг. 7.11 е показана схема на суперфиниширане (свръхзаглаждане). Характерно за този метод на обработване е бързото колебателно движение на



Фиг. 10.11. Схема на суперфиниширане

на лагерните шийки на колянови валове.

10.3. Режими на рязане

При обработване с шлифовъчни дискове и глави скоростта на рязане v се определя по формулата

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000 \cdot 60}, \text{ m/s}, \quad (10.2)$$

където D е диаметърът на шлифовъчния диск, mm ; n - честотата на въртене на шлифовъчния диск, min^{-1} . Обърнете внимание на размерността на скоростта на рязане при шлифоване - прието е тя да се измерва в метри за секунда.

При кръгло шлифоване скоростта на въртелното движение на детайла (кръговото подаване s_1) се определя по формулата

$$s_1 = \frac{\pi \cdot d_2 \cdot n_2}{1000}, \text{ m/min}, \quad (10.3)$$

където d_2 е диаметърът на обработваната повърхнина, mm ; n_2 - честотата на въртене на обработвания детайл, min^{-1} .

Надлъжното подаване s_2 се изразява в милиметри за двоен ход на обработвания детайл.

При плоско шлифоване надлъжното подаване s_1 се определя по формулата

$$s_1 = \frac{2 \cdot L \cdot n_2}{1000}, \text{ mm/min}, \quad (10.4)$$

където L е дължината на надлъжния ход, mm ; n_2 - честотата на двойните ходове на масата с обработвания детайл, min^{-1} .

Напречното подаване s_2 се изразява в милиметри за двоен ход на обработвания детайл.

брусчетата 1 със скорост на рязане v . Брусчетата се притискат с определено налягане към обработваната повърхнина 2 на детайла 3, който извършва въртелно подавателно движение.

Суперфиниширането се използва за довършващо обработване

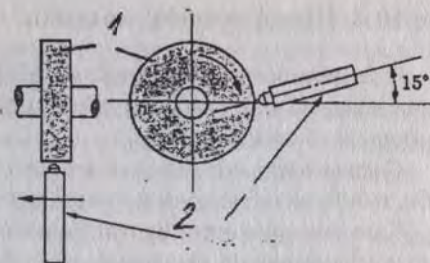
В процеса на рязане абразивните дискове се износват. Износването се изразява в разрушаване на абразивните зърна. Освен това пространството между зърната се запълва с отпадни продукти на процеса шлифоване - спечен метален прах, частици от износването на зърната и стружка.

При определени условия дисковете се samozatocvat, т.е. затъпените зърна се откъртват. На практика обаче по-често се налага дисковете да се заточват принудително за да се възстанови режещата им способност (фиг. 10.12).

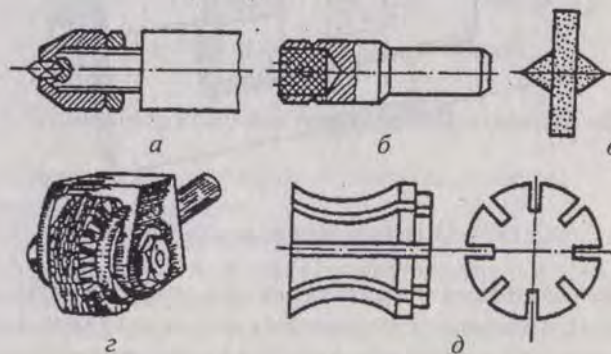
Шлифовъчните дискове се заточват с: диамантени зърна (фиг. 10.13a); диамантени моливи (фиг. 10.13б); диамантени и твърдосплавни ролки (фиг. 10.13в,г,д).

Процесът на шлифоване е свързан с интензивно топлоотделяне. При това особено силно се нагрява обработвания детайл. Под действието на високата температура могат да възникнат структурни превръщания на материала му и микропукнатини. Това налага шлифоването да се извършва с обилно охлаждане.

Абразивните зърна свалят стружки с малко сечение, затова силите на рязане за всяко отделно зърно са незначителни. Въпреки голямото количество едновременно режещи зърна сумарната сила на рязане също не е голяма. Но поради голямата скорост на рязане ($30 \dots 60 \text{ m/s}$) при шлифоването се изразходва значителна мощност. При проектиране на технологични процеси за шлифоване се изчислява съставната F_z на силата на рязане, а чрез нея - мощността на рязане. Необходимите за изчисленията формули и числови данни са приведени в технологичните справочници.



Фиг. 10.12. Заточване на шлифовъчен диск:
1 - диск; 2 - заточващ инструмент



Фиг. 10.13. Инструменти за заточване на шлифовъчни дискове

10.4. Шлифовъчни машини

В зависимост от формата на обработваната повърхнина и вида на шлифоване шлифовъчните машини се подразделят на: кръглошлифовъчни; плоскошлифовъчни и специални.

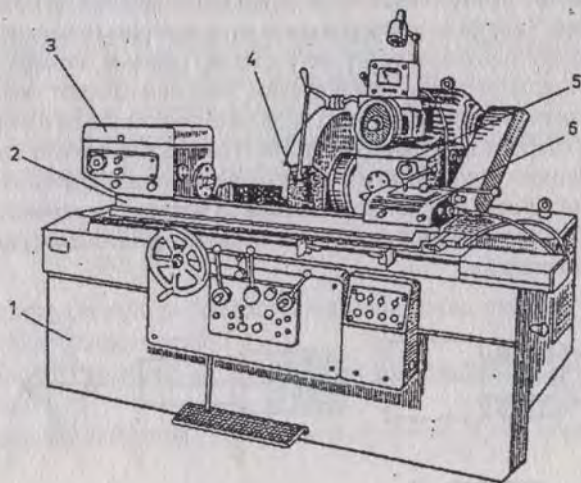
Специалните шлифовъчни машини са предназначени за шлифоване на резби, зъбите на зъбни колела, шлицы и др.

Към конструкцията на шлифовъчните машини се предявяват особено високи изисквания по отношение на стабилност, виброустойчивост, износостойчивост, температурни деформации и др.

Кръглошлифовъчните машини са предназначени за шлифоване на външни ротационни (цилиндрични, конусни, профилни) и на челни повърхнини. Те са два типа - *центрови* и *безцентрови*.

Центровите кръглошлифовъчни машини са три вида: за външно кръгло шлифоване; за вътрешно кръгло шлифоване и универсални.

На фиг.10.14 е показана машина за външно кръгло шлифоване. Върху тялото 1 са установени неподвижното предно седло 3 и подвижното задно седло 6. По направляващите 2 на тялото се премества шлифовъчният супорт 5 с шлифовъчния диск 4.



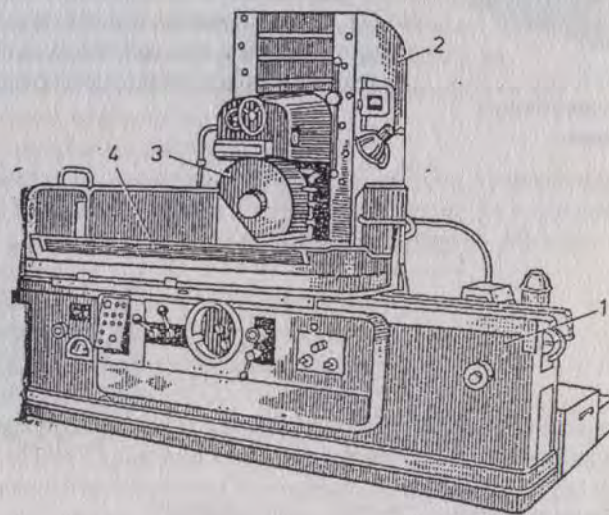
Фиг.10.14. Машина за външно кръгло шлифоване

Плоскошлифовъчните машини са два вида - с хоризонтално или вертикално вретено. При машините с *хоризонтално вретено* шлифоването се извършва с периферията на абразивния диск, а при тези с *вертикално вретено* - с челото на диска.

И двата вида машини могат да бъдат снабдени с правоъгълна или кръгла работна маса. При машините с вертикално вретено се използват чашковидни, сборни, сегментни и други шлифовъчни дискове.

За да се реализира схемата на рязане плоскошлифовъчните машини трябва да имат следните основни механизми: на главното движение; за надлъжно и напречно подавателно движение; за вертикално подавателно движение и за задвижване на масата на машината (при машини с кръгли маси).

На фиг.10.15 е показан външният вид на плоскошлифовъчна машина с хоризонтално вретено. Обработваните детайли се установяват върху масата 4, която извършва надлъжно и напречно подавателно движение. Вретеното заедно с шлифовъчния диск 3 се премества по вертикалните направляващи на колоната 2. На лицевата страна на тялото 1 се намира таблото за управление на машината.



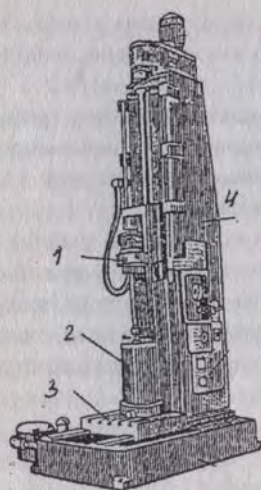
Фиг.10.15. Плоскошлифовъчна машина

10.5. Машини за окончателно (довършващо) обработване

Към машините за довършващо обработване се отнасят:

- машини за хонинговане;
- машини за притриване (лепинговане);
- машини за свърхзаглаждане (суперфиниширане);
- устройства за полиране.

Хонинговъчни машини. Тези машини са предназначени за довършващо обработване на вътрешни цилиндрични повърхнини с инструмент, наречен хонинговъчна глава (вж. фиг. 10.10). На фиг.10.16 е показан външният вид на хонин-

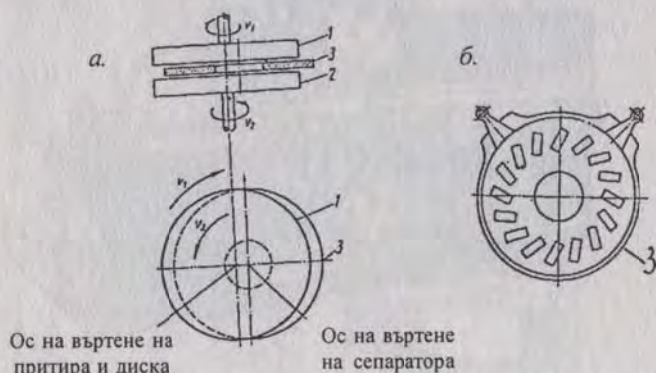


Фиг.10.16. Хонинговъчна машина

говъчна машина.

В процеса на работа хонинговъчната глава 1 извършва праволинейно възвратно-постъпателно и въртливо движение. Обработваният детайл се установява върху масата 2, която може да извършва установъчно преместване по направляващите на тялото 3.

Притриващите машини са предназначени за окончателно обработване - притриване, с помощта на инструменти, наречени притири. Използват се специални абразивни пасты и прахове, смесени със смазка, които се нанасят върху притира. Чрез притриване се получава висока точност и малка грапавост на обработваните повърхнини. На фиг.10.17а е показана схемата на работа на притриваща машина, предназначена за обработване на цилиндрични и равнинни повърхнини.



Фиг.10.17. Машина за притриване

Обработването се извършва от притира 1 и диска 2. Обработваните детайли се установяват свободно в гнездата на сепаратора 3 (фиг.10.17б). Дискът и притирът са разположени съосно и се въртят в противоположни посоки с различни скорости. Скоростта на въртене на диска е по-голяма. Сепараторът е разположен ексцентрично относно оста на въртене на притира и диска и се върти в посоката на въртене на диска. Обработваните детайли свободно се въртят в гнездата на сепаратора.

Възможна е и друга схема – сепараторът получава колебателно възвратно-постъпателно движение от отделно задвижване.

Глава 11 ЗЪБООБРАБОТВАНЕ

11.1. Кинематични схеми на обработване

Зъбонарязване. В конструкциите на съвременните механизми и машини широко разпространение имат зъбните предавки, които в сравнение с ремъчните, верижните и други предавки осигуряват предаването на по-големи мощности, по-компактни и по-надеждни са. Зъбните предавки - цилиндрични, конусни, червячни и с винтови зъби - се използват за предаване на въртливо движение между детайли с успоредни, пресичащи се и кръстосани оси. Най-разпространени са зъбните предавки с цилиндрични зъбни колела с еволвентен профил, затова ще ги разгледаме по-подробно.

Профилът на зъбите се образува чрез фрезозване, стъргане, дълбане, протегляне, зъбоструговане, валцоване, листово шамповане, а довършващото обработване се извършва чрез шлифование, шевинговане и др.

Методите за формообразуване на зъбния профил са два:

- метод на копирането;
- метод на обхождането.

Същността на *метода на копирането* е в това, че всяко междузъбие се обработва с профилен режещ инструмент. Профилът на режещите ръбове на инструмента съответства на профила на междузъбието. Методът на копиране се реализира чрез:

- фрезозване с палцови модулни фрези;
- фрезозване с дискови модулни фрези;
- зъбодълбане с многоножови глави;
- протегляне и др.

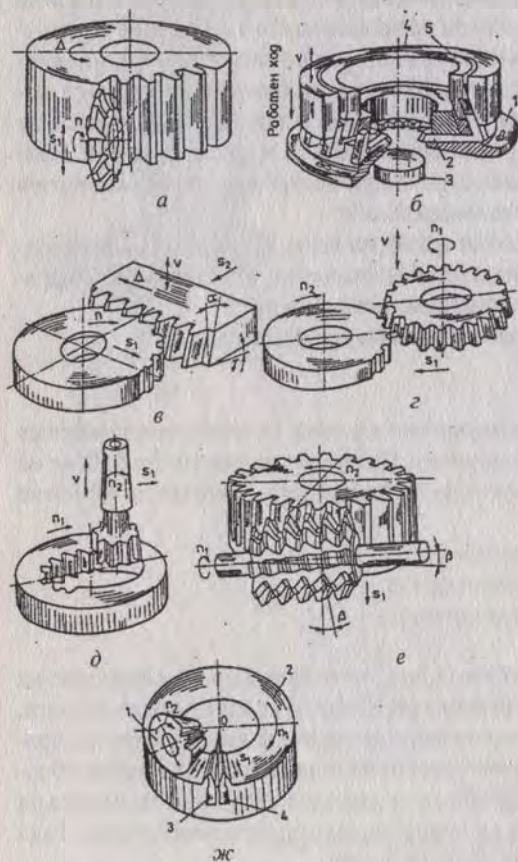
Схемата на нарязване на зъбите с *дискова модулна фреза* е показана на фиг.11.1а. Главното движение на рязане е въртливо и се извършва от фрезата. Обработваният детайл извършва подавателно движение по направление на обработваното междузъбие. След обработването на поредното междузъбие обработваният детайл се отмества от фрезата и се завърта на един зъб с помощта на делителен механизъм. След това се прорязва следващото междузъбие. Така нарязват зъбни колела и с палцова модулна фреза.

Този метод се осъществява както на специални автомати (в уредостроенето), така и на обикновени фрезови машини. По-често се работи с дискови модулни фрези. Палцовите фрези се използват за нарязване на зъбни колела с големи модули и на шевронни зъбни колела.

Най-голяма производителност при нарязване на зъбни колела се осигурява при зъбодълбане с *многоножови глави*, когато едновременно се обработват всички междузъбия. Многоножовата зъбодълбачна глава (фиг.11.1б) е сложен съставен инструмент. Тя се състои от тяло 1 във вид на диск с канали, в които са установени призматични профилни ножове 2. Броят на ножовете съответства

на броя на зъбите, а профилът им - на профила на междузъбията.

Главното движение е праволинейно възвратно-постъпателно и се извършва от обработвания детайл 3. Посоката на това движение съвпада с оста на обработвания детайл. На всеки двоен ход ножовете извършват радиално преместване.



Фиг. 11.1. Методи за нарязване на зъбите на цилиндрични зъбни колела

на оста. За да се осигури връзването на зъбния гребен на цялата дълбочина на междузъбието, масата с обработвания детайл се премества към гребена.

Тъй като броят на зъбите на зъбодълбачния гребен е конструктивно ограничен, периодично се налага гребенът да се връща в изходно положение, което в същност е движение за делене. Това намалява производителността на обра-

ботване и води до появата на грешки. Това преместване се осигурява за сметка на преместването на двата пръстена 4 и 5. При обратния (свободен) ход ножовете се отвеждат от обработвания детайл за да се избегне триенето по задната повърхнина. Схемата на сваляне на прибавката с многоножова зъбодълбачна глава е показана на фиг. 11.2.

Нарязването на зъбите на цилиндрични зъбни колела по метода на обхождане се извършва чрез:

- фрезозане с червячна модулна фреза;
- дълбане със зъбодълбачно колело;
- дълбане със зъбодълбачен гребен.

При обработването със зъбодълбачен гребен главното движение е възвратно-постъпателно и се извършва от инструмента (фиг. 11.1в). Обработваният детайл, установен върху масата на машината, извършва сложно движение на обхождане, състоящо се от две прости движения: въртене около собствената ос и постъпателно преместване, перпендикулярно

ботване и води до появата на грешки.

Схемата на нарязване на цилиндрични зъбни колела със зъбодълбачно колело е показана на фиг. 11.1г. Главното движение е праволинейно възвратно-постъпателно и се извършва от инструмента. Едновременно с това обработваният детайл и инструментът извършват синхронизирани въртеливи обхождащи движения. В процеса на обработване зъбодълбачното колело постепенно се връзва в радиално направление на цялата дълбочина на междузъбието.

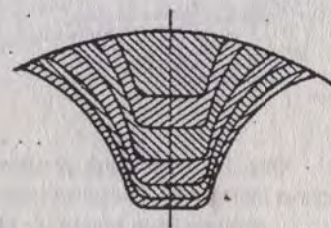
Със зъбодълбачни гребени и зъбодълбачни колела могат да се нарязват зъбни венци, разположени на малко разстояние от челни повърхнини с по-голям диаметър (фиг. 11.3). Със зъбодълбачни колела могат също така да се нарязват зъбни колела с вътрешни зъби (фиг. 11.1д).

Най-разпространен метод за нарязване на зъбите на цилиндрични зъбни колела е фрезозането с червячна модулна фреза (фиг. 11.1е). Главното движение е въртеливо и се извършва от инструмента. Обработваният детайл извършва въртеливо движение за обхождане, синхронизирано с въртеливото движение на инструмента. Освен това за обработване на зъбите по цялата им дължина фрезата се премества успоредно на оста на обработвания детайл.

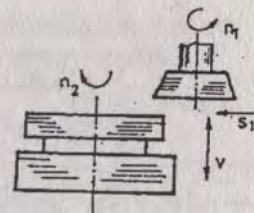
Нарязването на зъбите на конусни зъбни колела с прави зъби се извършва чрез обхождане по три схеми:

- Обработването се извършва чрез последователно стъргане за три прехода с три различни ножа – за грубо обработване, за чисто обработване на лявата страна на зъбите и за чисто обработване на дясната страна на зъбите (схема Билграм) (фиг. 11.4).
- Обработването се извършва чрез последователно стъргане за два прехода с четири ножа – два за грубо обработване и два за чисто обработване на зъбите (схема Глисон) (фиг. 11.5а). По тази схема се нарязват и конусни зъбни колела с наклонени зъби.
- Фрезозане с две дискови модулни фрези (фиг. 11.5б).

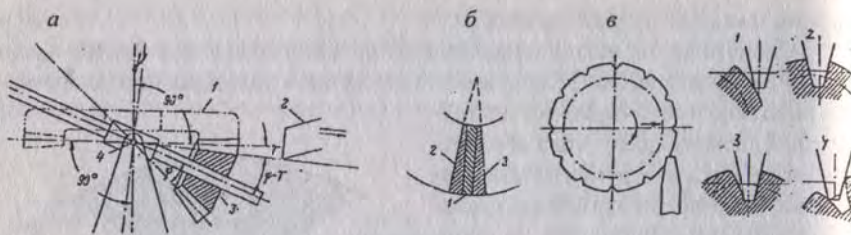
Нарязването на зъбите на конусни зъбни колела с криволинейни зъби се извършва също чрез обхождане по две основни схеми:



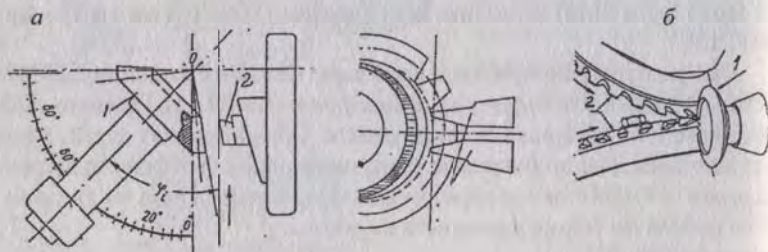
Фиг. 11.2. Схема на сваляне на прибавката с многоножова глава



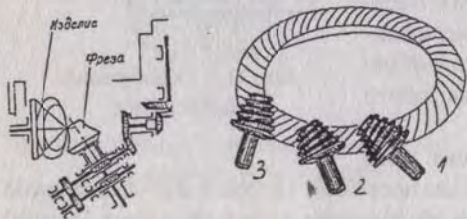
Фиг. 11.3. Обработване на зъбен блок



Фиг. 11.4. Нарязване на зъбите на конусни зъбни козела с прави зъби (схема Билграм) а. Схема на нарязването на зъбите: 1 - въображаемо плоско производящо козело; 2 - инструмент; 3 - обработван детайл. б. Схема на сваляне на прибавката: 1 - прорязване на падината (грубо обработване); 2 и 3 - обработване на лявата и дясната страна на зъба, съответно; в - грубо обработване



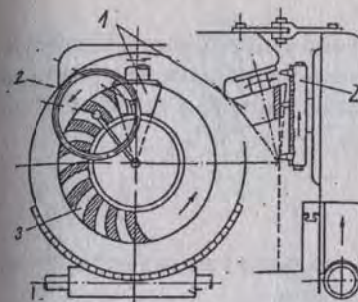
Фиг. 11.5. Нарязване на зъбите на конусни зъбни козела с прави зъби (схема Глисон) а - чрез стъргане; б - чрез фрезозване; 1 - обработван детайл; 2 - инструмент



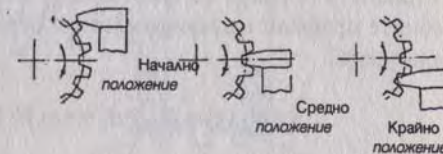
Фиг. 11.6. Нарязване на зъбите на конусни зъбни козела с криволинейни зъби (схема Клингелберг) 1, 2, 3 - последователни положения на фрезата при нарязване на зъбите

- Чрез фрезозване с конусна червячна фреза (схема Клингелберг) (фиг. 11.6). По тази схема се обработват зъбни козела с еволвентен надлъжен профил на зъбите. Височината на зъбите по цялата дължина на зъба се получава еднаква.

- Чрез фрезозване с челна фреза (схема Глисон) (фиг. 11.7). Довършващо обработване на зъбите. Довършващото обработване на зъбите се извър-



Фиг. 11.7. Нарязване на зъбите на конусни зъбни козела с криволинейни (дъгови) зъби (схема Глисон) 1 - обработван детайл; 2 - ножова глава; 3 - въображаемо производящо козело



Фиг. 11.8. Дискос шевер



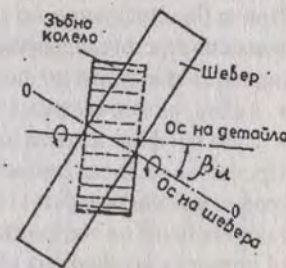
шва чрез шевинговане, шлифоване, притриване и др.

Шевинговането е метод за чисто обработване на страничните повърхнини на зъбите чрез снемане на тънък слой стружки с режещ инструмент, наречен шевер. Този процес осигурява висока точност на зъбите и малки височини на грапавините. Прилага се за обработване на незакалени зъбни козела.

Шевинговането се извършва с дискови шевери, червячни шевери и шевери-гребени. Най-голямо разпространение е получило шевинговането с дискови шевери.

Дисковият шевер представлява цилиндрично зъбно козело с наклонени зъби (фиг. 11.8а). Върху страничните повърхнини на зъбите са изработени канали (фиг. 11.8б), образуващи режещи ръбове. Шеверите се изработват от бързорежеща стомана.

Шевинговането с дискови шевери се извършва по метода на обхождането като се възпроизвежда зацепване на цилиндрични зъбни козела с кръстосани оси (фиг. 11.9). При такова зацепване точките от профила на зъбите на обработваното зъбно козело и инструмента се плъзгат една спрямо друга по направление на надлъжната ос (фиг. 11.9б). За сметка на това плъзгане се извършва проце-



Фиг. 11.9. Схема на шевинговане с дискос шевер

сът на рязане.

Главното движение е въртливо и се извършва от инструмента. Скоростта на рязане v е равна на скоростта на относителното плъзгане на точките на зъбните профили на инструмента и обработваното колело и се определя по формулата

$$v = v_u \cdot (\cos \beta_u \operatorname{tg} \beta_k \pm \sin \beta_u), \quad (11.1)$$

където v_u е окръжната скорост на шевера; β_u - ъгълът на наклона на зъбите на шевера; β_k - ъгълът на наклона на зъбите на колелото.

Знакът "+" се приема при еднопосочен наклон на зъбите, знакът "-" - при разнопосочен наклон.

Ъгълът на кръстосване на осите е от 10° до 20° .

За да се осъществи обработването, колелото се премества спрямо инструмента по направление на надлъжната си ос. Това преместване се нарича надлъжно подаване и се измерва в милиметри за един оборот (едно пълно завъртане) на колелото.

За да се прореже междузъбието по цялата дълбочина след всеки двоен ход се извършва радиално сближаване на обработваното колело и инструмента. Това преместване се нарича радиално подаване и се измерва в милиметри за един двоен ход.

По-малко разпространение е получила схемата на шевинговане с севергребен, тъй като този инструмент е по-сложен.

Зъбошлифоването е основен метод за довършващо обработване на зъбите на закалени зъбни колела. Извършва се по два метода - на копиране и на обхождане.

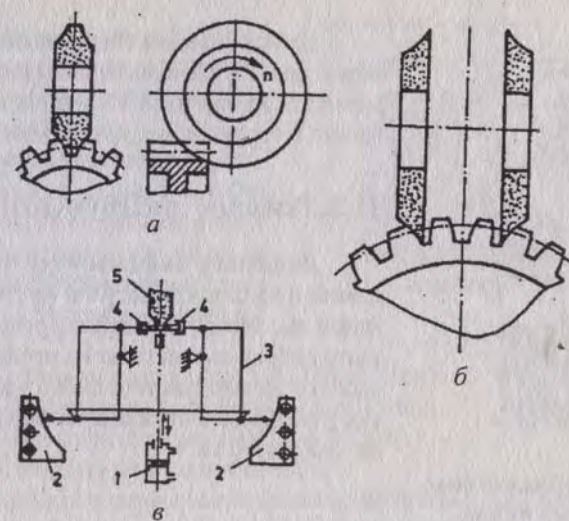
При зъбошлифоване по метода на копирането профилът на шлифовъчния диск съответства на профила на междузъбието. Шлифоването по метода на копиране се извършва по две схеми:

- с един профилен диск (фиг. 11.10а);
- с два профилни диска (фиг. 11.10б).

Профилът на диска (дисковете) се получава чрез заточване със специален пантографен механизъм (фиг. 11.10в). Профилът на диска 5 се задава от копирице 2. При преместване на лостовата система 3 от хидроцилиндъра 1 диамантените ролки 4 пренасят профила на копирице върху абразивния диск.

Главното движение на рязане се извършва от шлифовъчния диск. Освен това дискът извършва праволинейно възвратно-постъпателно движение по направление на обработвания зъб. След обработването на един зъб (или две страни на два различни зъба) шлифовъчният диск и зъбното колело се отделяват, зъбното колело се завърта на една стъпка и започва обработването на следващия зъб.

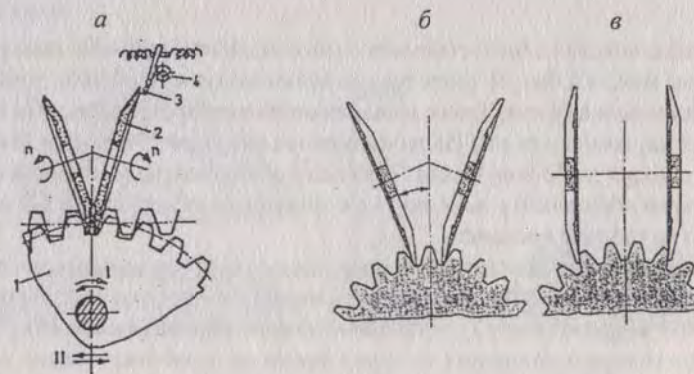
Шлифоването чрез обхождане се извършва с два чиниевидни диска. На фиг. 11.11а е показано шлифоване чрез обхождане на повърхнините на два съ-



Фиг. 11.10. Схеми на зъбошлифоване чрез копиране

седни зъба с двата диска 2, имитиращи страничните повърхнини на един зъб на зъбен гребен. Обхождането се осъществява чрез сумиране на две движения: въртене на зъбното колело 1 около оста му (движение I) и преместване перпендикулярно на тази ос (движение II). След шлифоване на определен брой зъби шлифовъчните дискове се заточват за възстановяване на режещата им способност и точността на профила. Заточването се извършва с диамантения мολив 3 под действието на гърбицата 4.

На фиг. 11.11б,в са показани две други подобни схеми на шлифоване.



Фиг. 11.11. Схеми на зъбошлифоване чрез обхождане

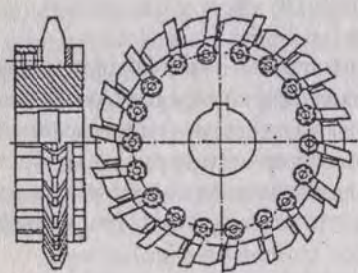


Фиг.11.12. Зъбошлифоване с абразивен червяк

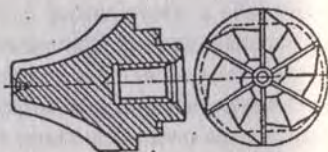
Най-производително е шлифоването чрез обхождане с абразивен червяк (фиг.11.12). Кинематиката на процеса е подобна на зъбофрезването с червячна модулна фреза.

11.2. Режещи инструменти

Дискови и палцови модулни фрези. Дисковите и палцовите модулни фрези са профилни фрези със затиловани зъби. Профилът на режещите ръбове съответства на профила на междузъбието на нарязваното зъбно колело. Дискова модулна фреза е показана на фиг.11.13, а палцова – на фиг.11.14.



Фиг.11.13. Дискова модулна фреза



Фиг.11.14. Палцова модулна фреза

Зъбни колела с един и същи модул, но с различен брой зъби, имат различни по форма междузъбия. Поради това за всеки модул и брой зъби трябва да се използва отделна фреза. Това е икономически нецелесъобразно. На практика се използват комплекти от 8 (за зъбни колела с модул до 10 mm) или 15 (за зъбни колела с модул до 15 mm) фрези. Това води до появата на методична грешка в профила на нарязваните зъби, но тя е в границите на допускателна грешка за 8-9 степен на точност на зъбните предавки.

За да се увеличи производителността и се осигури равномерна прибавка за чисто обработване, предварителното нарязване може да се извърши с комплект от три фрези (1, 2 и 3), установени на един дорник (фиг.11.15).

Дисковите и палцовите модулни фрези се изработват главно от бързо-режеща стомана.

Зъбодълбачни колела. Зъбодълбачните колела са режещи инструменти във вид на зъбно колело с режещи ръбове (вж. фиг.11.12,д).

В зависимост от начина на установяването им към машината зъбодълбачните колела се произвеждат с опашка или с цилиндричен отвор за дорник. По конструктивна форма тези колела са пет типа: тип 1 - дискови с прави зъби;

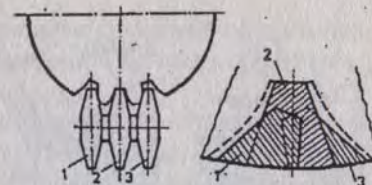
- тип 2 - дискови с наклонени зъби (фиг.11.16а);
- тип 3 - чашковидни с прави зъби (фиг.11.16в);
- тип 4 - опашкови с прави зъби (фиг.11.16б);
- тип 5 - опашкови с наклонени зъби.

Инструментите се изработват в три класа на точност АА, А и В, съответно за нарязване на зъбни колела шеста, седма и осма степен на точност.

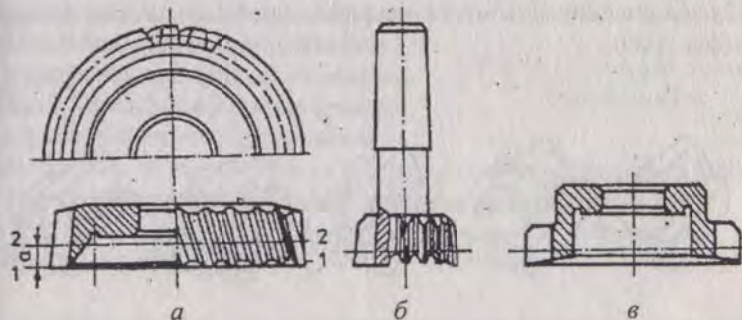
- Зъбодълбачните колела с наклонени зъби са предназначени за обработване на цилиндрични зъбни колела с наклонени зъби и на шевронни зъбни колела.

Както се вижда от фиг.11.13в, предната и задната повърхнини на инструмента са конусни. Предният ъгъл $\gamma = 5^\circ$, задният ъгъл $\alpha = 6^\circ$. Когато инструментът е предназначен за грубо обработване, тези ъгли се увеличават до $10^\circ \dots 12^\circ$.

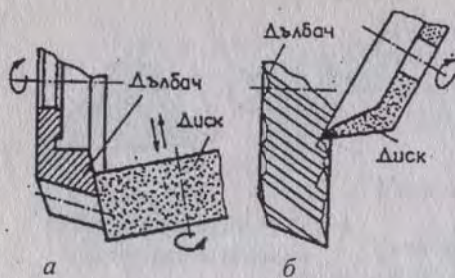
Поради наличието на заден ъгъл размерите на зъбодълбачното колело в различни сечения, перпендикулярни на надлъжната ос, са различни. В сечение 1-1 (фиг.11.16а) диаметърът на инструмента и дебелината на зъбите са най-големи. В сечение 2-2, разположено на разстояние a от сечение 1-1, размерите на инструмента са такива, както на зъбно колело със същия модул и брой на зъбите. Това сечение се нарича изходно, а величината a – изместване на изходното сечение.



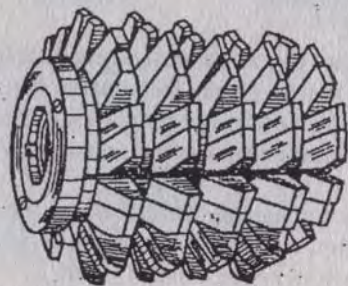
Фиг.11.15. Нарязване на зъби с комплект от три фрези



Фиг.11.16. Зъбодълбачни колела



Фиг. 11.17. Заточване на зъбодълбачни колела



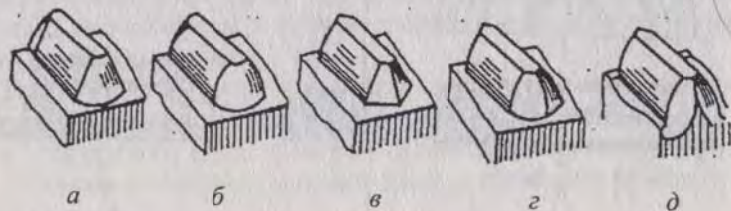
Фиг. 11.18. Червячна модулна фреза

Фрезите от класове на точност А, В и С се използват за нарязване на зъбни колела, съответно, 7, 8 и 9 степени на точност.

Заточването на фрезите се извършва по предната повърхнина на зъбите.

Зъбозакръгляне. За да се улесни зацепването между подвижни зъбни колела челата на зъбите се закръгляват (фиг. 11.19.).

Закръгляването на зъбите се извършва с профилни палчеви фрези по три схеми (фиг. 11.20):



Фиг. 11.19. Форми на закръгляване на зъбите

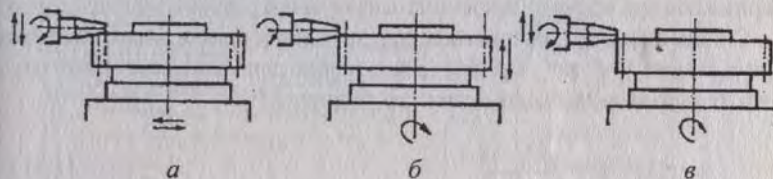
Заточването на зъбодълбачни колела се извършва по предната повърхнина (фиг. 11.17). При това размерите на зъбите по челото постепенно намаляват.

Червячни модулни фрези. Червячните модулни фрези представляват винт с надлъжни канали, образуващи режещите елементи на зъбите (фиг. 11.18а). Установяват се върху цилиндричен дорник. В осово сечение на фрезата профилът и е трапецовиден във вид на зъбен гребен (фиг. 11.18б). Фрезите се изработват три типа:

- тип I - прецизни фрези от клас на точност АА за нарязване на зъбни колела със 7-ма степен на точност;
- тип II - монолитни фрези с общо предназначение от класове на точност А, В и С;
- слобяеми фрези с общо предназначение от класове на точност А, В и С.

Фрезите от класове на точност А, В и С се използват за нарязване на зъбни колела, съответно, 7, 8 и 9 степени на точност.

- непрекъснато делене и синхронно праволинейно възвратно-постъпателно движение на инструмента по направление на оста на детайла (фиг. 11.20а);
- непрекъснато делене и синхронно праволинейно възвратно-постъпателно движение на обработваното зъбно колело (фиг. 11.20б);
- периодично делене на всеки зъб и радиално възвратно-колебателно движение на инструмента около зъба (фиг. 11.20в).



Фиг. 11.20. Схеми на закръгляване на зъбите

11.3. Режими на рязане

Скоростта на рязане при зъбообработване с въртливо главно движение се определя по формула (6.1), а при праволинейно възвратно-постъпателно главно движение - по формула (7.1).

В зависимост от използвания инструмент подаването се определя по различен начин.

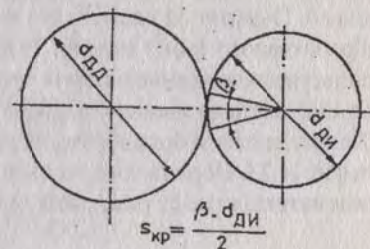
При обработване с дискови и палчеви модулни фрези подаването се изразява в милиметри за един оборот на фрезата (s mm/об), милиметри на един зъб (s_z) и милиметри в минутна (минутно подаване s_{min}).

При зъбодълбаче се различава кръгово и радиално подаване. **Кръговото подаване $s_{кр}$** представлява дължината на дъгата в милиметри по делителната окръжност на дълбача, на която той се завърта за един двоен ход (фиг. 11.21).

Радиалното подаване S_p се определя от зависимостта

$$s_p = (0,1 \dots 0,3) \cdot s_{кр} \quad (11.2)$$

При зъбофрезозане с червячни модулни фрези подаването s се изразява в милиметри за един оборот на заготовката. Минутното подаване s_{min} се



Фиг. 11.21. Кръгово подаване при зъбодълбаче

определя по формулата

$$s_m = \frac{s.n.k}{z}, \text{ mm/min} \quad (11.3)$$

където z е броят на зъбите на обработваното зъбно колело; n - честотата на въртене на инструмента, min^{-1} ; k - броят на ходовете на инструмента.

Дълбочината на рязане е равна на дебелината на срязвания слой материал в междузъбието, измерена по радиуса на зъбното колело. Ако зъбното колело се нарязва за един проход, дълбочината на рязане е равна на височината на зъба.

Силата на рязане, възникваща при зъбообработване, може да се разложи на три съставни F_x , F_y и F_z . При въртеливо главно движение мощността на рязане зависи от съпротивителният момент на рязане M_p :

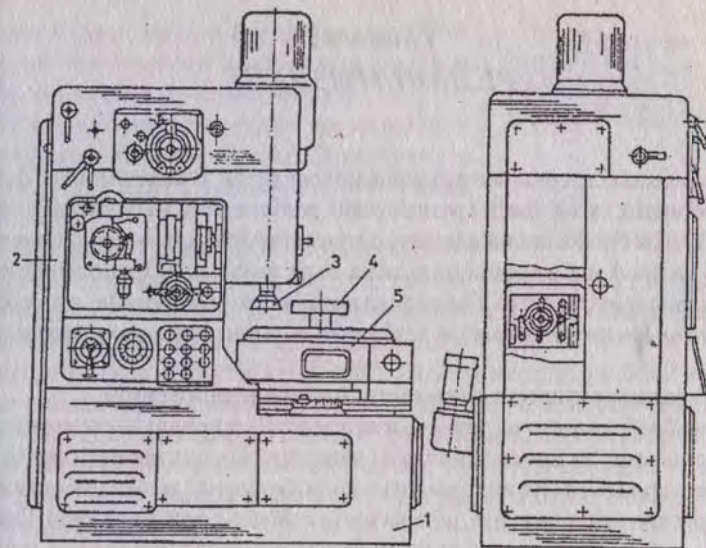
$$M_p = F_z \frac{D_n - t}{2}, \quad (11.4)$$

където D_n е външният диаметър на инструмента; t - дълбочината на рязане.

При праволинейно възвратно-постъпателно главно движение мощността на рязане се определя от съставната F_x на силата на рязане.

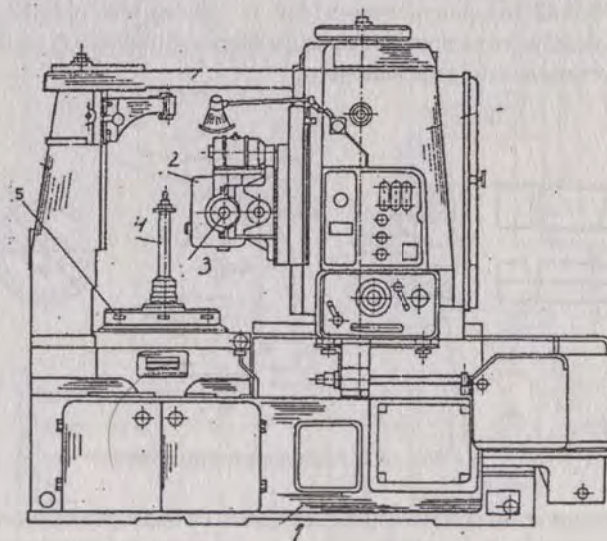
Зъбообработващите металорежещи машини са предназначени за нарязване и довършващо обработване на зъбите на зъбни колела.

Независимо от голямото си разнообразие зъбообработващите машини се основават на един общ принцип - в процеса на работа се възпроизвежда обхождане между две зъбни колела, червяк и зъбно колело, зъбен гребен и зъбно колело. Първият от елементите изпълнява ролята на инструмент, а вторият е обработваното зъбно колело. Тъй като процесът на обхождане е свързан със съгласувано движение на двата елемента (инструмента и обработвания детайл), кинематиката на машината трябва да има верига за точна кинематична връзка. Общият вид на зъбодълбачна машина е показан на фиг. 11.22, на зъбофрезова - на фиг. 11.23. Поради това, че зъбообработващите машини имат много сложна кинематика, те не се разглеждат в този курс.



Фиг. 11.22. Зъбодълбачна машина

1 - тяло; 2 - стойка; 3 - режещ инструмент; 4 - обработван детайл; 5 - маса



Фиг. 11.23. Зъбофрезова машина

1 - тяло; 2 - вретенен супорт; 3 - дорник за установяване на инструмента; 4 - дорник за установяване на обработвания детайл; 5 - маса

Глава 12 РЕЗБОНАРЯЗВАНЕ

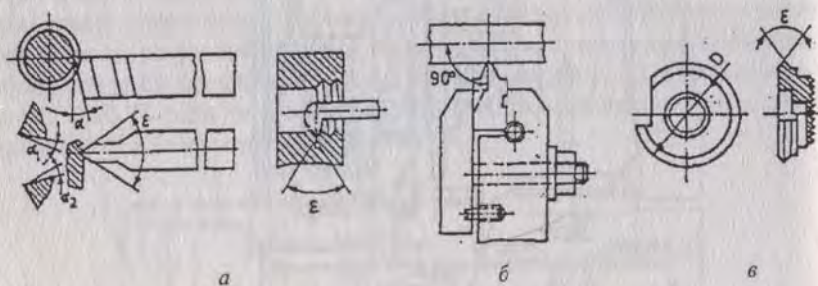
В техниката се използват различни видове резби. В зависимост от формата на повърхнината, върху която е разположена резбата, те са *цилиндрични*, *конусни* и *челни*. От своя страна цилиндричните и конусните резби са *външни* и *вътрешни*. Формата на профила на резбата може да бъде триъгълна, трапецовидна, правоъгълна, полукръгла и т.н. Освен това резбите са *леви* и *десни*, *едноходови* и *многоходови*. По предназначение резбовите съединения са *неподвижни* и *подвижни*.

Най-голямо разпространение имат цилиндричните резби.

При обработването на резби се използват две принципни схеми, едната от които съответства на процеса на струговане, другата - на процеса фрезование.

При първата схема инструментът и обработваният детайл извършват един спрямо друг винтово движение, оста на което съпада с оста на резбата. Главното движение е въртливо и може да се извършва както от инструмента, така и от детайла.

Най-простият инструмент, работещ по тази схема, е *резбонарязващият профилен стругарски нож* (фиг.12.1). Стругарските ножове се използват за нарязване на всички видове резби. По конструкция тези ножове се делят на *обикновени* (фиг.12.1а), *призматични* (фиг.12.1б) и *кръгли* (фиг.12.1в). Резбонарязващите ножове се различават само по формата на задната си повърхнина и начина на установяване към машината.



Фиг.12.1. Резбонарязващи ножове

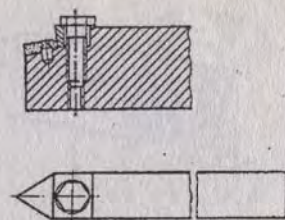
Обикновените ножове се изработват; *цели* от бързорежеща стомана; *съставни* със запоени твърдосплавни пластини; *сглобяеми* с механично закрепени твърдосплавни или минералокерамични пластини (фиг.12.2). Използват се за нарязване на външни и вътрешни резби.

Призматичните ножове се използват за нарязване само на външни резби,

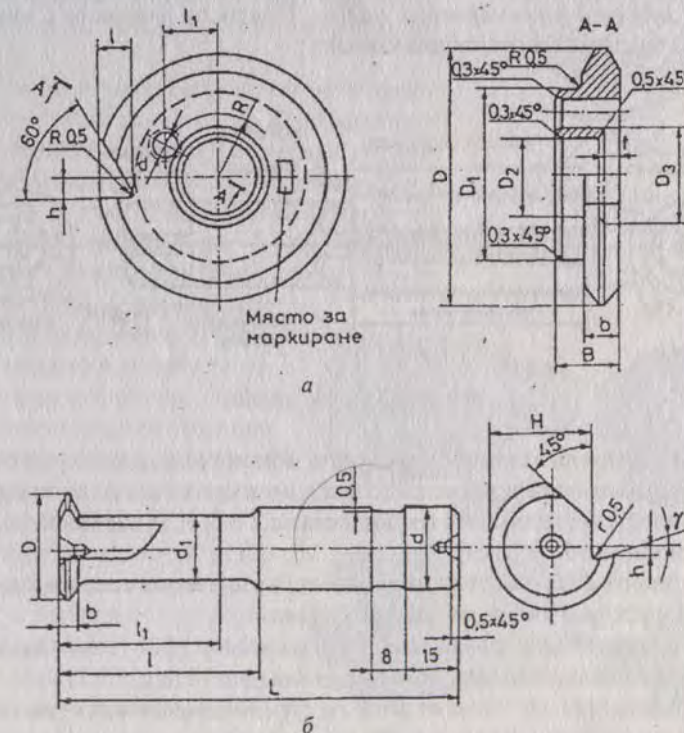
а кръглите - за външни и вътрешни резби. По-голямо разпространение са получили кръглите ножове, тъй като са по-технологични.

Кръглите ножове за нарязване на външни резби обикновено се изработват с централен отвор (фиг.12.3а), а за вътрешни резби - с опашка (фиг.12.3 б).

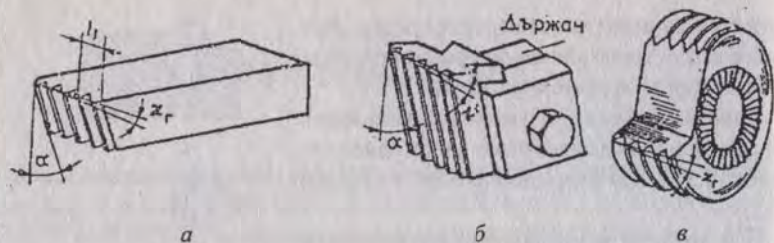
Нарязването на резба със стругарски нож се извършва за няколко прохода. За да се намали броят на проходите и да се увеличи производителността на обработване се използват *резбонарязващи гребени*. Тези гребени представляват няколко резбови ножа, обединени в една конструкция (фиг.12.4). Аналогично на ножовете те са *прътови* (фиг.12.4а), *призматични* (фиг.12.4б) и *кръгли* (фиг.12.4в). За да се разпредели прибавката между отделните зъби на гребена, той се изработва с ъгъл $k_r = 25^\circ \dots 30^\circ$. За окончателно оформяне на резбата гребенът има калибровача част от 4...6 еднакви зъба.



Фиг.12.2. Обикновен резбонарязващ нож



Фиг.12.3. Кръгли резбонарязващи ножове

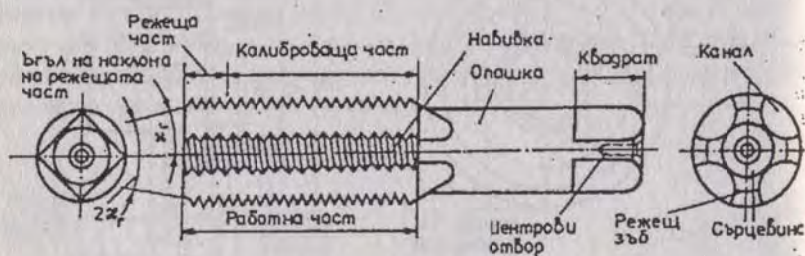


Фиг.12.4. Резбонарязващи гребени

Резбонарязващите гребени се използват главно за нарязване на резби с малка стъпка и в меки материали. Най-голямо разпространение са получили кръглите гребени.

За нарязване на скрепителни резби широко разпространение са получили метчиците и плашките. *Метчиците* се използват за нарязване на вътрешни резби, а *плашките* - за нарязване на външни резби.

Метчикът (фиг.12.5) се състои от *работна част* и *опашка*, а работната част - от *режеща* и *калибровачна* части. Опашката завършва с квадратен участък за предаване на въртящия момент.



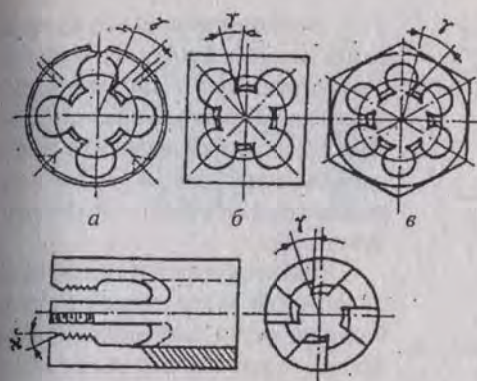
Фиг.12.5. Метчик (ръчен)

За да се намали възникващия въртящ момент и да се осигури по-високо качество на нарязаната резба, се използват комплекти от метчици. За нарязване на триъгълни резби метчиците в комплекта са 2 или 3, за нарязване на трапецовидни резби - до 6.

Метчиците се изработват предимно от бързорежеща стомана, по-рядко - от инструментална стомана или твърди сплави.

По конструктивна форма плашките са *кръгли* (фиг.12.6а), *квадратни* (фиг.12.6б), *шестстенни* (фиг.12.6в) и *тръбни* (фиг.12.6г).

Плашката (фиг.12.7) има от двете си страни режещи части, което и дава възможност да работи както от едната, така и от другата страна. По средата се намира калибровачна част. Плашката се установява в приспособление -



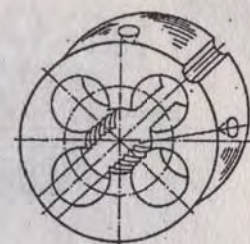
Фиг.12.6. Видове плашки

плашкодържач - по външната си цилиндрична повърхнина и едното чело. Закрепването се извършва с винтове, влизачи в конусните гнезда по външната цилиндрична повърхнина (фиг.12.8).

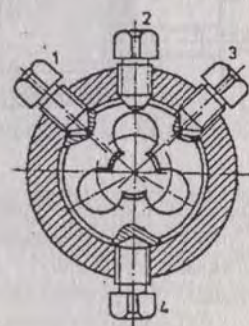
След нарязването на резбата метчиците и плашките трябва да се развият. За повишаване на производителността при нарязване на резби се използват специални *резбонарязващи глави* (фиг.12.9). В тялото на главата са закрепени резбонарязващи гребени - *призматични* (фиг.12.9а,б) или *кръгли* (фиг.12.9в). В края на работния ход резбонарязващите гребени със специален механизъм се отварят и главата се отвежда назад на бърз ход. Резбонарязващите глави се използват и за нарязване на вътрешни резби, но за отвори с диаметър над *20 mm* (фиг.12.9г).

Обработването на резби се извършва по две схеми:

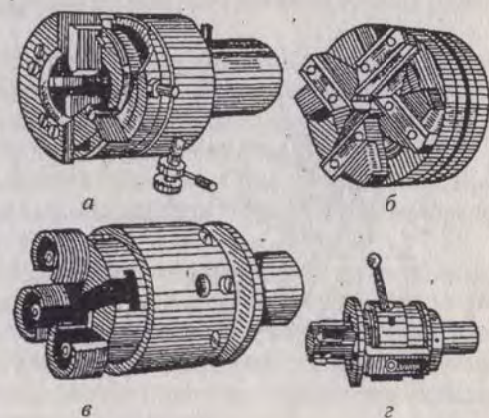
- с въртяща се резбонарязваща глава (фиг.12.10а);
- с невъртяща се резбонарязваща глава (фиг.12.10б).



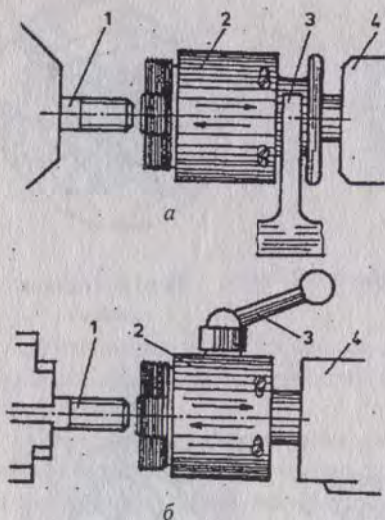
Фиг.12.7. Кръгла плашка



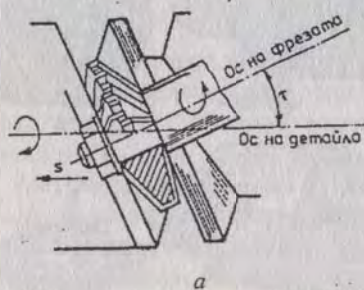
Фиг.12.8. Плашкодържач с плашка



Фиг.12.9. Резбонарязващи глави



Фиг.12.10. Схеми на обработване на резби с резбонарязващи глави
а - с въртяща се глава (1 - обработван детайл; 2 - резбонарязваща глава; 3 - вилка; 4 - вретено);
б - с невъртяща се глава (1 - обработван детайл; 2 - резбонарязваща глава; 3 - ръчка; 4 - револверна глава)



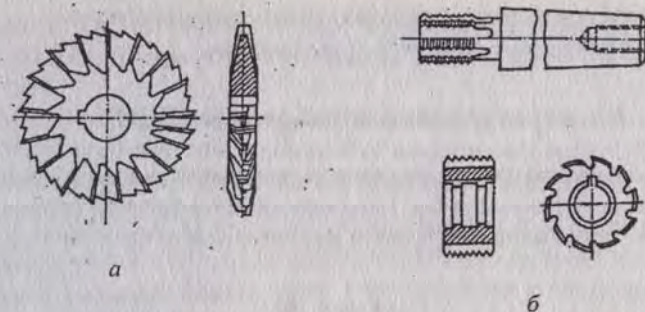
Фиг.12.11. Фрезване на резби
а - с дискова фреза; *б* - с гребеновидна фреза

Резбофрезването се извършва по няколко начина. По-широко разпространение са получили фрезването с *дискова профилна фреза* (фиг.12.11*а*) и фрезването с *гребеновидна фреза* (фиг.12.11*б*), а за нарязване на дълги резби - *вихровото фрезване*.

Дисковите фрези обикновено се използват за нарязване на трапецовидни резби, а гребеновидните фрези - за нарязване на къси резби с малък ъгъл на изкачване на навивките. Дисковите фрези се изработват с отвор за установяване (фиг.12.12*а*), а гребеновидните - с опашка (фиг.12.12*б*) или отвор (фиг.12.12*в*).

Резби с високи изисквания за точност се шлифват с профилни дискове с една (фиг.12.13*а*) или с много навивки (фиг.12.13*б*). Във втория случай широчината на шлифовъчния диск трябва да е по-голяма от дължината на резбата.

Съществуват редица други методи и инструменти за обработване на резби (резбопротегляне, резбошлифване, резбовалцоване и др.), които тук не са разгледани.



Фиг.12.12. Резбови фрези
а - дискова; *б* - гребеновидна с опашка; *в* - гребеновидна с отвор за дорник

Глава 13 ЕЛЕКТРОФИЗИЧНИ МЕТОДИ ЗА ОБРАБОТВАНЕ

Електрофизичните методи за обработване на материалите се характеризират с непосредственото използване на управляеми енергийни въздействия с висока плътност в резултат от електрически или физико-химични явления, протичащи в работната зона. Възникващите или прилаганите усилия са незначителни, в редица случаи инструментът в реален вид въобще отсъства.

По характера на основно въздействащата върху материала енергия тези методи се разделят на три групи:

- Методи, основани на топлинно въздействие на въвежданата с висока интензивност електрическа или електромагнитна енергия. Към тях се отнасят електроерозийното, лазерното и електроннолъчевото обработване, обработването с нискотемпературна плазма и техните разновидности.
- Методи, основани на механично и импулсно-механично въздействие на електрическа или акустична енергия. Към тях се отнасят ултразвуковото обработване, електроимпулсното и магнитноимпулсното обработване, магнитоабразивното обработване и техните разновидности.
- Методи, основани на химичното действие на електрически ток. Към тях се отнасят електрохимичното размерно обработване, полиране, почистване, напластяване и т.н.

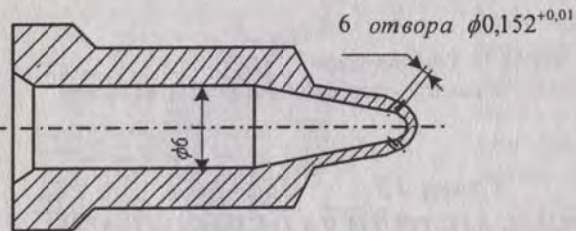
Електрофизичните методи се използват за обработване на труднообработваеми материали, на сложни и недостъпни повърхнини, на повърхнини с много малки размери и др., където традиционните методи за обработване са неприложими или нископроизводителни. При това производителността на обработване и разходът на енергия практически не зависят от физико-механичните свойства на обработвания материал.

При проектиране на технологични процеси за изработване на детайлите

электрофизичните методи се включват като отделни операции.
Тук ще разгледаме само част от тези методи.

13.1. Електроерозийно обработване (ЕЕО)

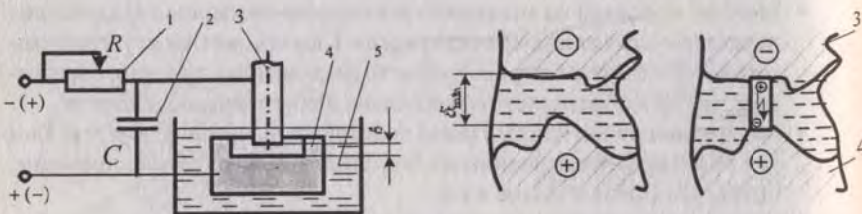
Разрушаването на електродите под действието на електрически разряди се нарича електрическа ерозия. Като явление електрическа ерозия е позната отдавна, тя е причина за разрушаване на контактите на електрическите уреди.



Фиг. 13.1. Разпръсквател на дизелова горивна апаратура

ура (фиг.13.1) е дало възможност за увеличаване на производителността 45 пъти (от 20 броя за смяна при пробиване с диамантени свредла до 900 броя за смяна). Бракът е намален до 0,5 %.

Принципната схема на метода е показана на фиг.13.2а. Обработваният детайл 4 и инструментът 3 са поместени във вана с течен диелектрик 5. Кондензаторът 2, зареждащ се от източник на постоянен ток, представлява генератор на импулси. Времето за зареждане на кондензатора се регулира с променливия резистор 1. Инструментът и обработваният детайл се намират на разстояние δ един от друг.



Фиг. 13.2. Принципната схема на електроерозийно обработване

В процеса на обработване инструментът се приближава към обработвания детайл. При достигане на определено минимално междуелектродното разстояние δ възниква електрически разряд, под действието на който се разрушава определен участък от обработваната повърхнина. Продуктите от разрушаването

се охлаждат от диелектричната течност. След известно време кондензаторът натрупва нова енергия и протича нов разряд на друго място (където δ е най-малко) и т.н.

Механизмът на разрушаване е показан на фиг.13.2б. В резултат на намаляването на междуелектродното разстояние нараства напрегнатостта на полето в пространството между електродите. Когато напрегнатостта достигне критичната си стойност ($E \approx (2...3) \cdot 10^6, V/m$) в мястото, където междуелектродното разстояние е най-малко, от катода се отделя поток електрони и се устремява към анода през диелектричната среда, като я изпарява и йонизира. Диелектричният слой между електродите 1 и 3 се разкъсва и се образува канал на проводимост 2. Този канал е запълнен с плазма – нагрятото вещество, съдържащо йони и електрони.

При малка дължина на електрическите импулси електроните, които са по-леки от йоните и поради това имат по-голяма скорост, достигат до повърхнината на анода и разтопяват и изпаряват частици материал. Малка част от йоните достига до повърхнината на катода-инструмент, разрушавайки я. Този процес се нарича електроискров режим на ЕЕО.

При увеличаване на дължината на електрическите импулси по-голямата част от йоните достигат до катода и го разрушават интензивно. При тези условия е по-изгодно обработваният детайл да бъде анод, инструментът – катод. Този процес се нарича електроимпулсен режим на ЕЕО.

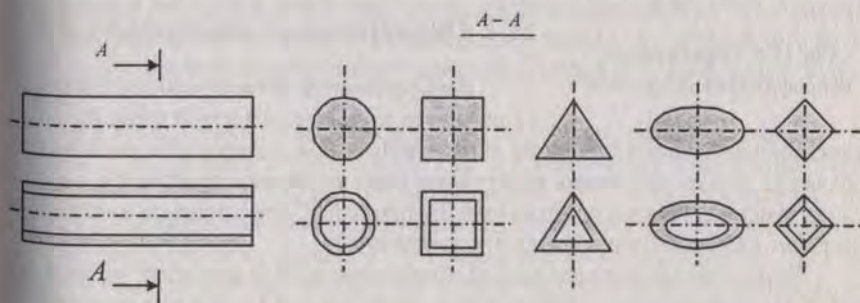
Електроискровият режим осигурява по-висока точност, електроимпулсният – по висока производителност.

Електрическата ерозия се използва за обработване на повърхнини със сложна форма на детайли от труднообработваеми метали и сплави. Използват се две схеми на работа – с профилирани и непрофилирани инструменти.

Инструментите се изработват от мед, графит или медно-графитна композиция. За пробиване на отвори с малки диаметри (0,01 mm) се използва помеднена волфрамова тел.

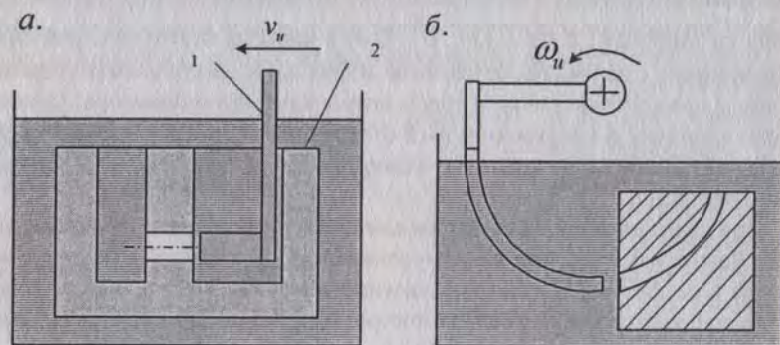
Като диелектрична течност се използват вода или керосин.

Профилираните инструменти с различна форма (фиг.13.3) се използват

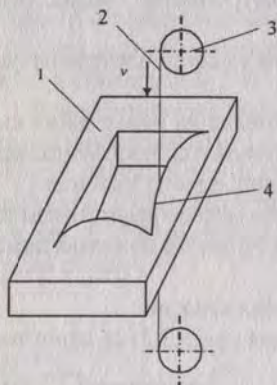


Фиг. 13.3. Форми на стандартни медни профили, използвани за инструменти

за обработване на обемни повърхнини. Възможно е да се пробиват криволинейни отвори и отвори, разположени в труднодостъпни места. На фиг.13.4а е показана схема на пробиване на криволинейен отвор за охлаждане на турбинна лопатка, на фиг.13.4б – схема на пробиване на отвор на хидравличен блок за управление.



Фиг.13.4. Пробиване на отвори



Фиг.13.5. Обработване с непрофилиран инструмент

Непрофилираният инструмент представлява тънка медна нишка 2, непрекъснато движеща се между две макари 3. Чрез преместване на обработвания детайл 1 по програма се изрязва сложния проходен контур 4 (фиг.13.5).

Електроерозийното обработване осигурява 6-7 степен на точност при работа с профилиран инструмент и 5-6 степен при работа с непрофилиран инструмент. Грапавостта на повърхнините е до $Ra = 0,2...0,6$.

13.2. Обработване с електронен лъч

Изобретяването на електронната лампа слага началото на широкото използване на поток електрони в науката и техниката. В настояще време електронната техника позволява да се получат мощни електронни снопове, енергията на които е достатъчна за осъществяване на технологични процеси. С електронен лъч може да се нагряват, стопяват и изпаряват всички материали.

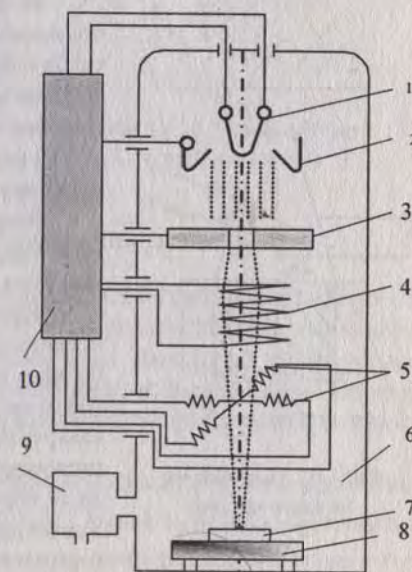
За получаване и управление на електронни лъчи се използват устройства, работещи на принципа на термоелектронната емисия. Схемата на електроннолъчева установка е показана на фиг.13.6.

При пропускане на електрически ток през нагревателя 1 катодът 2 се нагрява до температура $2400...2700\text{ K}$ и изпуска мощен поток електрони. Анодът 3 представлява масивен детайл с централен отвор. Между катода и анода от захранващия блок 10 се подава високо ускоряващо напрежение ($15...200\text{ kV}$). Под действието на това напрежение електроните се ускоряват. Преминалите през отвора електрони се концентрират от магнитната леща 4 в тесен сноп с висока плътност на енергията (до $5 \cdot 10^{12}\text{ W/m}^2$). Във фокуса диаметърът на снопа е по-малък от 1 микрометър. Чрез фокусиране на лъча плътността на енергията може да се изменя в широки граници. Отклоняващата система 5 служи за управлението на положението на лъча относно обработвания детайл 7. При малка обработвана площ лъчът се премества само чрез отклоняващата система, при по-голяма площ се извършва допълнително преместване чрез масата 8.

В работното пространство 6 на електронно-лъчева тръба чрез системата от вакуумни помпи 9 се създава вакуум от порядъка на 10^{-4} Pa , за да не могат молекулите на газа да пречат на движението на електроните.

При напрежение между катода и анода $U = 150\text{ kV}$ скоростта на електроните v_e достига $2/3$ от скоростта на светлината ($v_e = 593,2\sqrt{U}\text{ km/s}$). При удрянето си в повърхнината на обработвания детайл електроните проникват в нея на дълбочина около $0,1\text{ mm}$. Кинетичната им енергия се превръща основно в топлина и рентгеново излъчване. При плътност на енергията 10^7 W/m^2 започва изпаряване на материала на обработвания детайл и изхвърлянето му от образувания кратер. При това се откриват нови слоеве материал, които се изпаряват, и т.н.

За технологични цели електронният лъч се използва за стопяване и изпаряване на материалите. Мощността на технологичните електроннолъчеви установки е от $0,5\text{ kW}$ до 1200 kW . Установките с по-голяма мощност, но с по-малко ускоряващо напрежение и по-малка концентрация на енергия, се използват за стопяване на материалите. Установките с по-малка мощност, но с по-голямо ускоряващо напрежение и по-голяма концентрация на енергия, се използват за изпаряване на материалите.

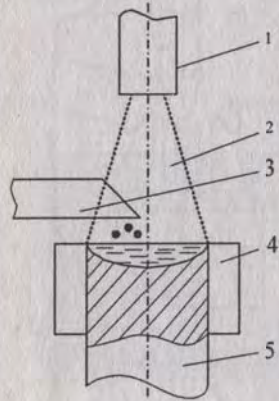


Фиг.13.6. Принципно схема на електроннолъчева установка

Стопяването на материалите се използва за:

- получаване на особено чисти метали, включително химически активни;
- заваряване и микрозаваряване.

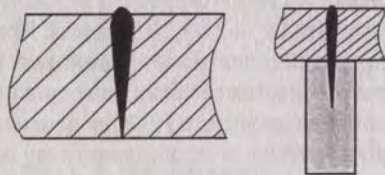
На фиг. 13.7. е показана схема на установка за получаване на чисти метали. Електронно-лъчевата тръба 1 генерира електронния лъч 2. В зоната на действие на лъча се подава претопяваният метал 3. Стопеният метал попада в тигела 4 и се изтегля надолу във вид на слитък 5 през вакуумния шлюз на установката.



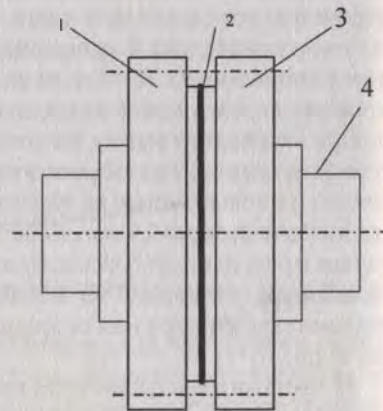
Фиг. 13.7. Получаване на чисти метали

Установките за получаване на чисти метали имат мощност до 1200 kW и позволяват да се получават слитъци с маса до 20 тона.

Електроннолъчевото заваряване позволява за един проход да се получат шевове с голяма дълбочина – до $250 \dots 300\text{ mm}$ (фиг. 13.8а, б). Шевове от този тип се наричат кинжални. Технологиата на заваряване с електронен лъч позволява от две цилиндрични зъбни колела 1 и 2 с наклонени зъби да се получи шевронно зъбно колело (фиг. 13.9). Такива шевронни зъбни колела се използват в конструкциите на самолетните двигатели.



Фиг. 13.8. Кинжален шев



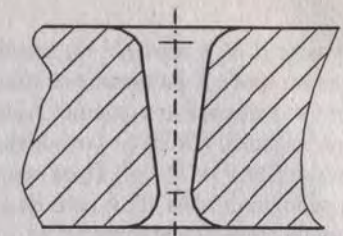
Фиг. 13.9. Заварено шевронно зъбно колело

Изпаряването на материалите се използва за:

- нанасяне на покрития;

- размерно обработване.

Минималният диаметър на пробиваните отвори е $5\text{ }\mu\text{m}$ (според някои източници – $1\text{ }\mu\text{m}$), разсейването на размерите е под $10\text{ }\mu\text{m}$. Отворът се получава със закръгление по челата и с малка конусност (фиг. 13.10). При дълбочина на отвора до 5 mm тъгълът на конусност $\alpha \leq 1^\circ$.



Фиг. 13.10. Отвор, пробит с електронен лъч

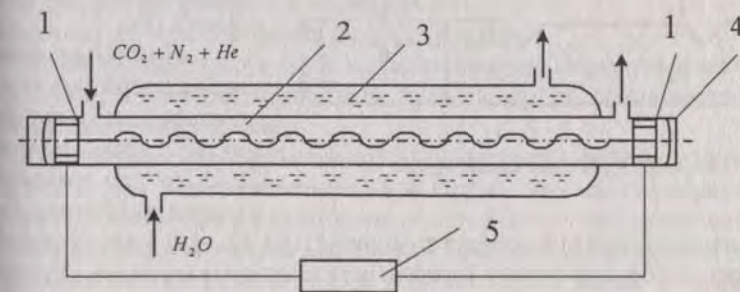
13.3. Обработване със светлинен (лазерен) лъч

За да се използват за технологични цели светлинните лъчи трябва да се фокусират за достигане на висока плътност на енергията. Плътността на енергията във фокусното петно на полихроматична светлина е от порядъка на 10^7 W/m^2 . Тази плътност е съизмерима с нагряването с газова горелка. Поради това полихроматичната светлина се използва сравнително рядко за технологични цели.

За монохроматичните лъчи теоретично е достижимо фокусиране до петно с диаметър, съизмерим с дължината $\lambda = 0,4 \dots 1\text{ }\mu\text{m}$ на вълната на светлината. Поради невъзможността да се получи идеална монохроматична вълна този диаметър е по-голям.

За създаване на кохерентни лъчи се използват оптични квантови генератори – лазери. За технологични цели се използват основно газови лазери на основата на въглероден двуокис и твърдотели итриево-алуминиеви (ИАГ) лазери.

На фиг. 13.11 е показана схема на газов лазер на основата на CO_2 , генериращ излъчване с дължина на вълната $\lambda = 10,6\text{ }\mu\text{m}$. Активната среда на този тип лазери е плазмата на дъговия разряд, осъществяван в газова смес от въглероден

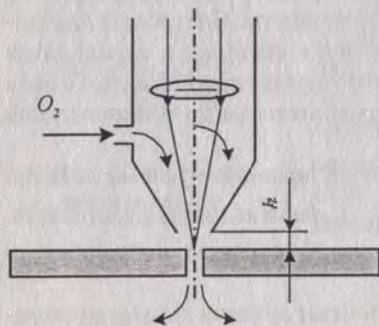


Фиг. 13.11. Схема на газов лазер

двуокис (CO_2), азот (N_2) и хелий (He), преминаваща под налягане през разрядната тръба 2. Разрядите се осъществяват между електродите 1, захранването е от високоволтния източник 5. Генерираното излъчване се пропуска през полупрозрачещото огледало 4 от материал, прозрачен за инфрачервените лъчи (кристали на KBr , $NaCl$ и др.). През кожуха 3 се прекарва вода за интензивно охлаждане на работната зона. Тъй като част от молекулите на въглеродния двуокис при газовия разряд се разлагат ($CO_2 \rightarrow CO + O$), се налага да се подава свежа газова смес за поддържане на генерацията.

Лазерите се използват за размерно обработване, заваряване и термообработване.

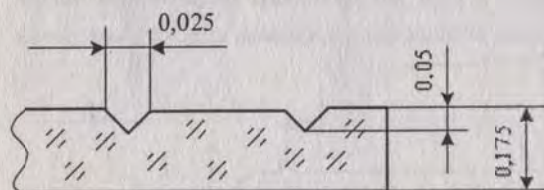
Лазерното разрязване, разкрояване и пробиване на отвори са най-често използваните при размерното обработване на различни материали – метали и сплави, пластмаси, керамика, органични материали и др.



Фиг.13.12. Лазерно рязане

При разрязване на метали и сплави стопилката от зоната на рязане се отстранява чрез струя инертен или активен газ. Въвеждането на активен газ – кислород – в зоната на обработване повишава ефективността на процеса за сметка на протичащите екзотермични реакции. Принципова схема на лазерно рязане с подаване на кислород е показана на фиг.13.12. При мощност на излъчването $P = 2 \text{ kW}$ се разрязват стоманени листове с дебелина $8 \dots 12 \text{ mm}$ със скорост 1 m/min .

Разделянето на крехки материали (стъкло, кристали, полупроводникови материали) се извършва чрез скрайбиране (лазерно надрязване) и последващо отчупване (фиг.13.13).



Фиг.13.13. Лазерно скрайбиране

Пробиването на отвори с лазери дава възможност да се получат минимални диаметри около $0,05 \text{ mm}$ при сравнително голяма дълбочина (отношение на дълбочината на отвора към диаметъра $20 \dots 50$) и висока производителност. Особено ефективно е пробиването на отвори в керамика, скъпоценни и полускъпоценни камъни и други подобни материали, използвани за лагери в часовниковите механизми, за дюзи при изтегляне на тънки нишки и др.

На фиг.13.14 е показана схема на обработване на отвор с диаметър $0,1 \text{ mm}$ и дълбочина 3 mm в диамантена дюза за изтегляне на медни нишки. Обработването се извършва за две установки. За облекчаване на формообразуването обработваният детайл извършва въртливо движение.

13.4. Други методи

Обработване с ултразвук. Звукът представлява механични еластични трептения, разпространяващи се в материална среда (твърда, течна, газообразна) с определена скорост, зависеща от свойствата на средата. Характерна тяхна особеност е възможността им да пренасят енергия без да пренасят вещество. Ултразвуковите трептения обхващат значителна част от спектъра на механичните еластични трептения – от $18 \cdot 10^3$ до 10^{10} Hz .

Основни източници на ултразвукова енергия са магнитострикционните и пиезоелектрически преобразуватели на електрически ток с висока честота в механични трептения.

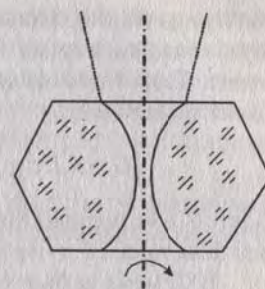
Магнитострикционният преобразувател (фиг.13.15) представлява пакет от тънки метални пластини, върху надлъжните участъци 1 на които са навити възбуждащите намотки 2. Излъчването се извършва от челото 3 на пакета.

Пластините се изработват от никел, желязо-кобалтови сплави и др.

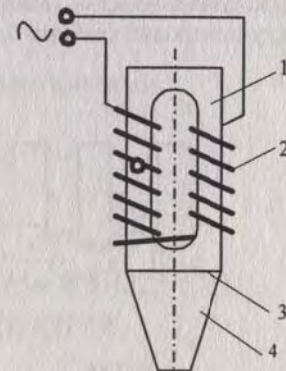
Енергията от преобразувателя към материалната среда се предава с концентратор 4 с параболична или конусна форма на образуващата.

Ултразвуковите трептения се използват за контролиране на качеството на материалите, за размерно обработване, почистване и т.н. самостоятелно или с други методи за обработване.

Електрохимично обработване (ЕХО). Същността на метода е в промяната на формата, размерите и качеството на повърхностния слой на обработвания детайл в резултат на анодно разтваряне на материала му при процеса електролиза. Механизмът на анодното разтваряне е свързан с протичането на реакция, в резултат на която на катода се отделя газ (водород), а на анода – метален хидроксид ($Me(OH)_n$) и газ (кислород). Обработването може да се извърши с течаш или с неподвижен електролит. Като електролит се използва воден разтвор на HCl ,



Фиг.13.14.Схема на пробиване на отвор в диамантена дюза



Фиг.13.15
Магнитострикционен преобразувател

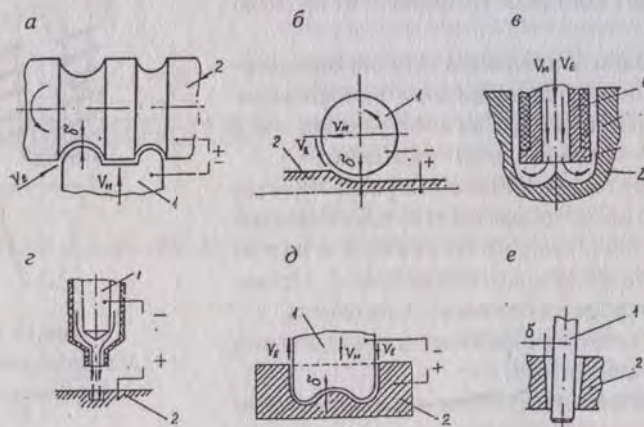
$NaNO_3$ или Na_2SO_4 . Производителността на процеса зависи от свойствата на обработвания материал, плътността на тока, скоростта на движение на електролита. Теоретично количеството метал G , свалено от анода, се определя по закона на Фарадей:

$$G = K \cdot I \cdot \tau, g \quad (13.1)$$

където K е тегловният химически еквивалент на материала на анода, g/A ; I - силата на тока, A ; τ - времето за протичане на тока, s .

ЕХО може да бъде безразмерно и размерно и осигурява точност на размерите $8 \dots 10$ степен и грапавост $Ra = 2, 5 \dots 0, 63$. Размерното ЕХО се извършва по схемите на струговане, прошиване, шлифоване, разрязване, калиброване, безразмерното - по схемите на почистване, полиране и др.

Схемата на *електрохимично струговане* е показана на фиг. 13.16а. Обработваният детайл 2 се върти с честота ω , инструментът 1 се премества с подавателна скорост v_n . Между детайла и инструмента се поддържа постоянна междуелектродна хлабина d , през която със скорост v_E се подава електролит.



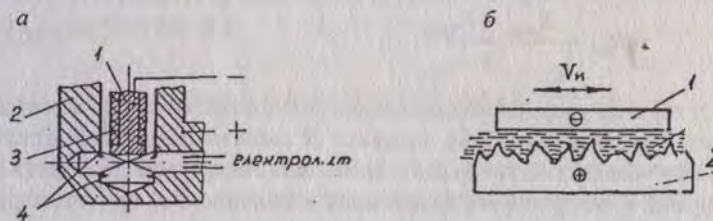
Фиг. 13.16. Размерно електрохимично обработване
1 - инструмент; 2 - обработван детайл

Електрохимичното шлифоване се извършва по подобна схема (фиг. 13.16б). Инструментът е метален диск. Този метод се използва за окончателно обработване на тънкостенни детайли или труднообработваеми стомани.

Чрез *електрохимично прошиване* се обработват проходни и непроходни отвори с различна форма в надлъжно и напречно сечение (фиг. 13.16в, г, д). Разновидност на прошиването е калиброването (фиг. 13.16е), използвано при обработване на малки отвори.

Електрохимичното почистване се състои в разтваряне на повърхностния слой метал, протичащо с влошаване на макрогеометрията на повърхнината. Използва се за премахване на окиси, окалини, почистване на мустаци, закръгляване на остри ръбове. На фиг. 13.17а е показана схема на почистване на мустаци 4 на два пресичащи се отвора на детайла 2. Инструментът 1 е с диелектрично покритие 3.

Електрохимичното полиране (фиг. 13.17б) се използва за довършващо обработване на детайлите, в частност, преди нанасяне на галванични покрития.



Фиг. 13.17. Безразмерно електрохимично обработване

Глава 14

ГРЕШКИ ПРИ ИЗРАБОТВАНЕ НА ИЗДЕЛИЯТА. ИЗУЧАВАНЕ НА ГРЕШКИТЕ

14.1. Класификация на грешките

Както беше показано в глава 1 (фиг. 1.2), при изпълнение на технологичните процеси в резултат на колебание на параметрите им възникват грешки, водещи до колебание на показателите на качество на изработваните детайли и сглобяваните изделия. Например, ако в плоча от стомана 45 пробием двадесет отвора с едно и също свредло $\varnothing 10$ и измерим диаметралните им размери, ще установим, че:

- диаметрите на отворите са различни;
- диаметрите на отворите не са равни на диаметъра на свредлото.

Получаването на различни размери при едни и същи условия на обработване (за разглеждания пример - 20 отвора, пробити в една заготовка с един инструмент при постоянен режим на работа) се нарича разсейване на грешките на размерите.

Разликата между номиналния размер A , зададен в технологичната документация, и действително получения в резултат на обработването размер

$A_{\text{отклон}}$ се нарича грешка Δ на размера A :

$$\Delta = A_{\text{отклон}} - A. \quad (14.1)$$

Разликата между най-голямата грешка Δ_{max} и най-малката грешка Δ_{min} , получени при обработването на партида от N заготовки, се нарича размах R , а полусумата на тези грешки - координата на средата на размаха Δ_m :

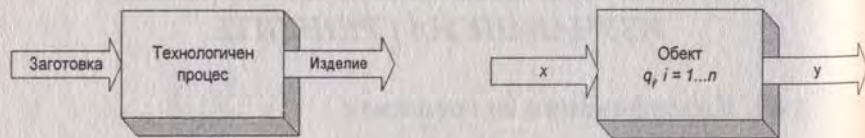
$$R = \Delta_{\text{max}} - \Delta_{\text{min}}; \quad (14.2)$$

$$\Delta_m = \frac{\Delta_{\text{max}} + \Delta_{\text{min}}}{2}. \quad (14.3)$$

От горните уравнения се вижда, че величините Δ и Δ_m могат да бъдат положителни или отрицателни, размахът R винаги е положителна величина.

За изучаването на грешките е необходимо преди всичко те да бъдат класифицирани. Класифициране на грешките в зависимост от причините, които ги поражда, може да се направи, ако се разгледа технологичния процес като преобразувател на информация (фиг. 14.1) [6].

В равновесно състояние на входа на преобразувателя на информация, наричан за краткост "обект", постъпва сигнал x , на изхода се изработва сигнал y . В зависимост от принципа на работа на обекта величината y може да бъде какъвто и да е физически параметър - преместване, размер, налягане, напрежение и т.н.



Фиг. 14.1. Информационен модел на технологичния процес

За идеален обект, без конструктивни и производствени отклонения, зависимостта между входния сигнал x и изходния сигнал y се определя от уравнението:

$$y_0 = F_0(x, q), \quad (14.4)$$

където q са параметрите на обекта.

В реалния обект конструктивните параметри не могат да бъдат получени с абсолютна точност, всеки от тях има отклонение Δq_i . Сигналят x също може да има отклонение Δx . Следователно, за реалния обект връзката между сигналите на входа и изхода е следната:

$$y = F(x + \Delta x; q_i + \Delta q_i). \quad (14.5)$$

Функцията (14.5) може да се разложи в ред на Тейлор, като с достатъчна за разглеждания модел точност се работи само с първите слагаеми, съдържащи отклоненията в нулева и първа степен:

$$y = F(x, q) + \frac{\partial F}{\partial x} \Delta x + \sum_1^n \frac{\partial F}{\partial q_i} \Delta q_i.$$

Разликата между изходния сигнал за реалния и идеалния обекти определя грешката Δy на този сигнал:

$$\Delta y = y - y_0 = [F(x, q) - F_0(x, q)] + \frac{\partial F}{\partial x} \Delta x + \sum_1^n \frac{\partial F}{\partial q_i} \Delta q_i. \quad (14.6)$$

Първото слагаемо в уравнение (14.6) определя големината на структурната (методичната) грешка, възникваща в резултат на използване в конструкцията на обекта не на идеална, а на приближена зависимост на y от x . Тази грешка се определя по експериментален път или чрез моделиране на идеалната и реалната конструкции на обекта. Такива грешки възникват при използване на приближени закони на движение в технологичните системи, при обработване с профилни инструменти и др. Например, при нарязване на цилиндрични зъбни колела с дискови модулни фрези възникват грешки на профила на зъба в резултат от използването на една фреза от набора за обработване на зъбни колела с различен брой зъби.

Второто слагаемо определя влиянието на грешката Δx на входния сигнал x . Тази грешка се отчита само при разглеждане на обекта като елемент на система обекти. В частност, тя трябва да се отчита при изследване на формирането на качествените показатели на изделието в хода на целия технологичния процес.

Третото слагаемо определя големината на грешката, възникваща в резултат на отклоненията на конструктивните параметри на обекта q_i от номиналните стойности. Причините за тези отклонения могат да бъдат производствени грешки, стареене и износване в процеса на експлоатация, изменение на условията на работа (температура, влажност, атмосферно налягане) и др.

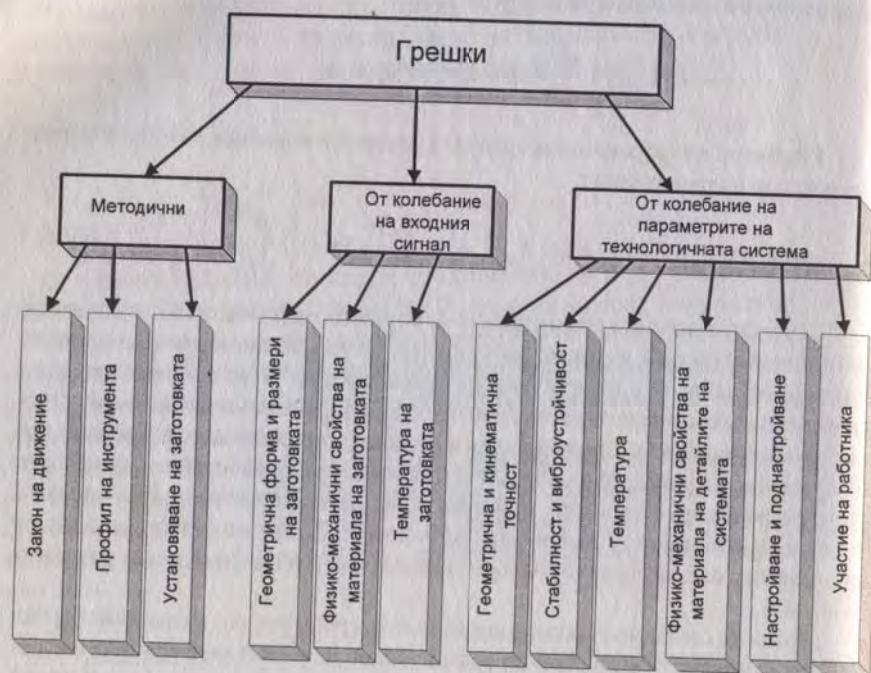
Множителите $\frac{\partial F}{\partial x}$ и $\frac{\partial F}{\partial q_i}$ се наричат коефициенти на влияние или

предавателни коефициенти и се означават с a_x и a_{q_i} : $a_x = \frac{\partial F}{\partial x}$ и $a_{q_i} = \frac{\partial F}{\partial q_i}$.

От разглеждания информационен модел на технологичния процес се вижда, че при изработването на детайлите и сглобяването на изделията се проявяват три вида грешки:

- методични;

- грешки от колебание на параметрите на заготовката;
 - грешки от колебание на параметрите на технологичната система.
- Класификацията на тези грешки е показана на фиг. 14.2.



Фиг. 14.2. Видове грешки

За изучаване и анализиране на грешките и разсейването им се използват два метода: аналитичен и статистически.

Аналитичният метод предполага разработването на аналитични модели на технологичния процес [3], [12] и др. Тези модели се разработват преди всичко на основата на теорията на базирането и теорията на размерните вериги (вж. гл. 15...20). За изучаване на механизмите на образуване на грешките при механично обработване на детайлите се използват именно такива модели.

При статистическата обработка на грешките се използват зависимостите на теорията на вероятностите.

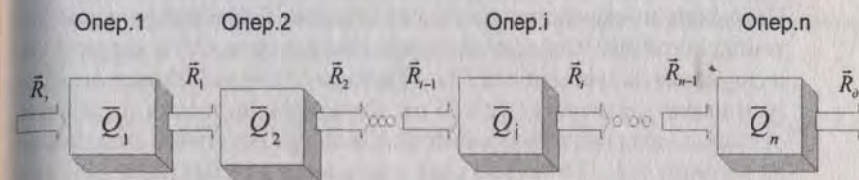
14.2. Технологична наследственост

Технологичният процес за изработване на детайла може да се разгледа като система от последователно свързани обекти-преобразуватели на информация (фиг. 14.3) [12]. Тази система се описва с функциите:

$$\bar{R}_i = F_i(\bar{R}_{i-1}, \bar{Q}_i),$$

$$\bar{R}_0 = F(\bar{R}_3, \bar{Q}_i) \quad (14.7)$$

където \bar{R}_0 са показателите на качество на изделието; \bar{R}_i - показателите на качество, формиращи на i -тата операция; \bar{R}_3 - параметрите на заготовката; \bar{Q}_i - параметрите на i -тата технологична система.



Фиг. 14.3. Модел на технологичния процес като система от последователно свързани обекти

От уравнение (14.7) се вижда, че показателите на качество на изделието се формират не само на последната операция, а през време на изпълнение на целия технологичен процес.

Явлението пренасяне на свойствата на обекта от предшестващата операция към следващата се нарича *технологично наследяване*, а съхраняването на тези свойства - *технологична наследственост* [10].

Теорията за технологичната наследственост описва зависимостта на деформациите в даден момент от време от предшестващото състояние на материала. Технологичните процеси за обработване на детайлите и сглобяване на изделията се осъществяват чрез прилагане на определени сили, следователно, при наличието на еластични и пластични деформации. Тези сили са основният фактор, пренасящ белезите на наследствеността от една операция към друга.

Всеки детайл е тяло с определена геометрична форма от материал с определени физико-механични свойства. Следователно, при изпълнение на технологичните процеси се наследяват:

- физико-механичните свойства на материала - структура, твърдост, температура;
- геометричната форма и размерите на заготовката;
- отклоненията на размерите и формата на заготовката;
- грапавостта на повърхнините.

Физико-механичните свойства на материала се проявяват чрез:

- остатъчните напрежения. Установено е, че ако на някоя от операциите заготовката е деформирана, макар и с малка сила, то в материала възниква неравновесно състояние. Това неравновесно състояние обуславя деформациите на вече готовия детайл;

- наличието на примеси. Например, сярата се смята за вреден примес, но при автоматните стомани наличието на сяра води до увеличаване на точността на обработваните детайли. Детайлите, изработени от автоматна стомана със съдържание на сяра 0,16 % имат 5...6 пъти по-голямо поле на разсейване на размерите от такива детайли, изработени от автоматна стомана със съдържание на сяра 0,2 %. Грапавостта е, съответно, $R_z = 10 \mu m$ и $R_z = 3,2 \mu m$;
- структурата на материала, получена в резултат на термообработването. Например, измервателни плочки от стомана X, закалени в масло при температура $860^\circ C$ и отпуснати при температура $125^\circ C$ с остатъчно съдържание на аустенит под 1 %, 24 месеца след изработването изменят (увеличават) размерите си с $0,25 \mu m$. Измервателни плочки, изработени от същия материал и при същите условия, но с остатъчно съдържание на аустенит 7,4...7,8 % само след три месеца изменят размерите си с $1,3...1,8 \mu m$.

Достатъчно добре механизмът на технологичната наследственост се описва чрез ориентирани ациклични графи [10].

14.3. Закони на разпределение на случайните величини

Математичните закони на теорията на вероятностите са отражение на обективно съществуващите закономерности в масовите случайни явления. Съвременната теория на вероятностите разглежда три вида случайни явления: случайни събития, случайни величини и случайни функции (или случайни процеси, ако аргумент на случайната функция е времето). В този смисъл в математичната статистика грешките се разглеждат като случайни и случайно-функционални. Случайни са грешките, за които всяка следваща стойност е неизвестна, т.е. не зависи от предидущите стойности. Когато грешките се проявяват като случайно-функционални, то всяка следваща стойност е корелационно свързана с предидущите. В технологичната литература случайно-функционалните грешки често се наричат систематични. В частен случай случайно-функционалните грешки могат да се проявяват като постоянни. Трябва обаче да подчертаем, че видът на грешката (случайна, случайно-функционална или постоянна) зависи не от факторите, които я предизвикват, а само от подхода на изследователя при изучаването на тази грешка.

В технологията на машиностроенето за изучаване на грешките се използват законите на разпределение и точковите диаграми, а също така корелационния и регресионния анализ.

Закон на разпределение на случайната величина X се нарича всяко съотношение, установяващо връзката между възможните стойности x на случайната величина и съответстващите им вероятности p [5].

За решаването на множество практически задачи е достатъчно да се знаят само числовите характеристики на случайните величини, описващи съществени

черти на разпределението.

Числовите характеристики на случайните величини са две групи: характеристики на положението и характеристики на разсейването.

Характеристиките на положението отразяват средната, ориентируваща стойност, около която се групират възможните стойности на случайната величина, т.е. определят положението на случайната величина на числовата ос. Най-голямо значение от тези характеристики има *математичното очакване* на случайната величина X , което ще обозначим с $M(X)$ или m_x .

За прекъснати случайни величини математичното очакване се определя по формула (14.8), а за непрекъснати – по формула (14.9):

$$M(X) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i, \text{ където } \sum_{i=1}^n p_i = 1, \quad (14.8)$$

$$M(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f(x) \cdot dx. \quad (14.9)$$

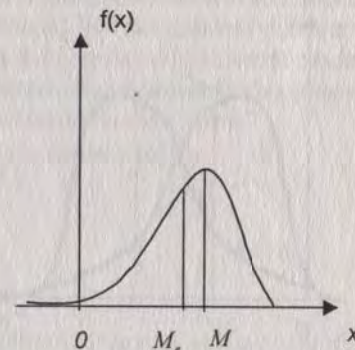
Често вместо математично очакване се използва изразът “средна стойност” на случайната величина.

Освен математичното очакване на практика се използват още две характеристики на положението – мода и медиана.

Мода M на прекъснатата случайна величина се нарича нейната най-вероятна стойност. Мода M на непрекъснатата случайна величина е тази нейна стойност, в която плътността на разпределението е най-голяма (фиг. 14.4). Медиана е абсцисата на точката, в която площта, ограничена от кривата на разпределение, се дели на две равни части.

Характеристиките на разсейването определят степента и характера на отклонението на случайната величина от математичното очакване. Основна характеристика на разсейването е *дисперсията*. Тя се обозначава с $D(X)$ или D_x и се пресмята по формулите (14.10) и (14.11), съответно, за прекъсната и непрекъснатата случайна величина

$$D_x = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 p_i \quad (14.10)$$



Фиг. 14.4. Мода и медиана

$$D_x = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 \cdot f(x) \cdot dx \quad (14.11)$$

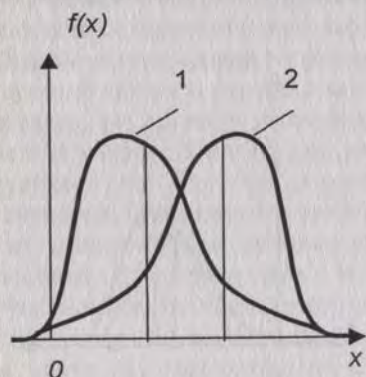
Размерността на дисперсията е равна на квадрата на размерността на случайната величина. За по-удобно се извлича квадратен корен от дисперсията. Получената величина се нарича средно квадратично отклонение на случайната величина и се бележи с $\sigma(X)$ или σ_x :

$$\sigma_x^2 = D_x; \quad (14.12)$$

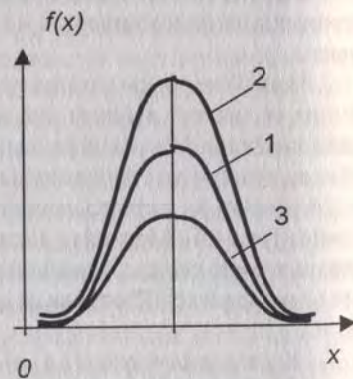
За по-подробно описание на разсейването се използват понятията асиметрия и ексцес.

Асиметрията на разсейването се характеризира с коефициента на асиметрия S_k . Две асиметрични разпределения – с положителна (кривата 1) и отрицателна (кривата 2) асиметрия – са показани на фиг. 14.5.

Ексцесът E_x характеризира стръмността на разпределението (фиг. 14.6). За нормалния закон на разпределение се приема, че ексцесът е равен на нула (крива 1). Кривите, по-островърхи от нормалната, имат положителен ексцес (крива 2), по-плосковърхите – отрицателен ексцес (крива 3).



Фиг. 14.5. Асиметрично разпределение



Фиг. 14.6. Ексцес

Оценки за числовите характеристики. При обработката на опитни данни за числовите характеристики на законите на разпределение се съди по оценките на тези характеристики.

За математичното очакване оценката е средното аритметично \bar{m}_x

$$\bar{m}_x = \frac{\sum_1^n x_i}{n}. \quad (14.13)$$

За дисперсията и средното квадратично отклонение оценките са, съответно, статистическата дисперсия \bar{D}_x и статистическото средно квадратично отклонение $\bar{\sigma}_x$:

$$\bar{D}_x = \frac{\sum_1^n (x_i - \bar{m}_x)^2}{n-1}; \quad (14.14)$$

$$\bar{\sigma}_x^2 = \bar{D}_x. \quad (14.15)$$

Теоретични закони на разпределение. Разсейването на показателите на качество при обработване на детайлите и спсобяване на изделията най-често се доближава до разпределения, описвани със следните теоретични закони на разпределение: нормалният закон (законът на Гаус); законът на равната вероятност; законът на триъгълника (законът на Симпсон); законът на ексцентрицитета (законът на Релей).

Нормалният закон на разпределение има изключително голямо значение в теорията на вероятностите. Главната негова особеност е, че той се явява граничен закон, към който се приближават другите закони на разпределение при често срещани типични условия.

Нормалният закон се наблюдава, когато големината на изследвания показател се определя от съвкупното влияние на голям брой взаимно независими случайни фактори, сред които няма доминиращи. Тъй като такива условия са характерни за протичането на технологичните процеси, твърде често разсейването на размерите на детайлите, на височината на грапавините и на физико-механичните свойства на материалите се подчинява на този закон.

Нормалният закон (фиг. 14.7а) се изразява с уравнението

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma^2}} \quad (14.16)$$

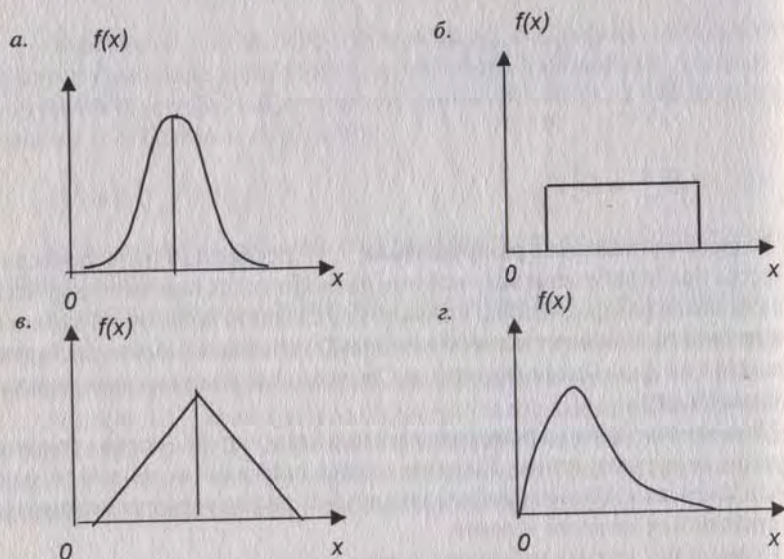
и представлява симетрична спрямо математичното очакване крива с асимптотично приближаващи се към абсцисната ос два клона.

Законът на равната вероятност (фиг. 14.7б) се получава при доминираща случайно-функционална грешка, изменяща се по линеен закон, например, изменението на размерите на детайлите в резултат от размерното износване на инструмента.

Законът на триъгълника (фиг. 14.7в) описва разпределението на сумата на две случайни величини, всяка от които се разпределя по закона на равната вероятност.

Законът на Релей (фиг. 14.7г) описва разпределението на непрекъснати

положителни величини, например, радиално и челно биене, отклонение от успоредност, отклонение от перпендикулярност и др.



Фиг. 14.7. Теоретични закони на разпределение

В машиностроенето допустимите отклонения на качествените показатели от зададените номинални стойности A се задават с долно EI и горно ES гранични отклонения или с допусково поле T и средно отклонение EM . Поради това при анализиране на разсейването на показателите на качество се работи с величината "вероятно поле на разсейване" ω . Вероятното поле на разсейване на величината X се определя от равенството

$$\omega_x = 2.t.\sigma_x, \quad (14.17)$$

където t е коефициентът на риск.

Стойността на t зависи от вида на закона на разпределение и приетата вероятност p на попадане на стойностите на случайната величина X в границите на полето на разсейване ω_x . За нормалния закон тази вероятност е показана в таблица 14.1 (фиг. 14.8).

Таблица 14.1

t	1,0	1,65	2,0	2,57	3,0	3,29	3,89
$P, \%$	32	10	4,5	1,0	0,27	0,1	0,01

Обикновено, ако законът на разпределение на случайната величина X е неизвестен, а са известни само m_x и σ_x , участъкът ($\pm 3 \cdot \sigma_x$) се приема за участък на практически възможните стойности на X . Този подход се нарича "правило на трите сигма".

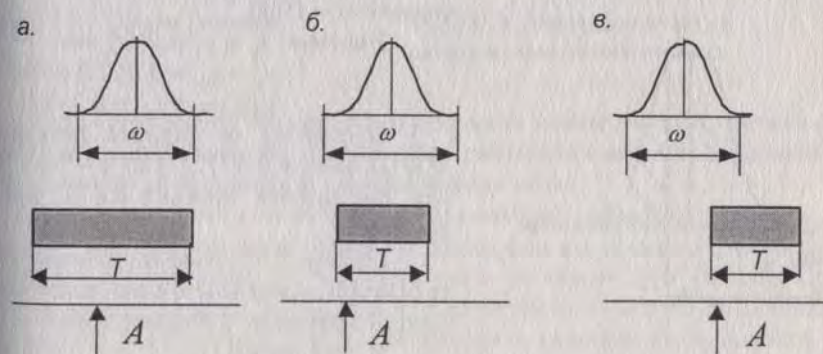
За закона на равната вероятност $\omega_x = 3.46\sigma_x$, за закона на триъгълника $\omega_x = 4.90\sigma_x$, за закона на Релей $\omega_x = 5.25\sigma_x$.

Контролиране на показателите на качество. В зависимост от съотношението на големината на допуската T и полето на разсейване ω на контролирания показател на качество обработването (или сглобяването) може да се осъществи без брак или при наличие на определен процент брак. Коефициентът ψ , с който се характеризира запаса на точност, се определя по формулата

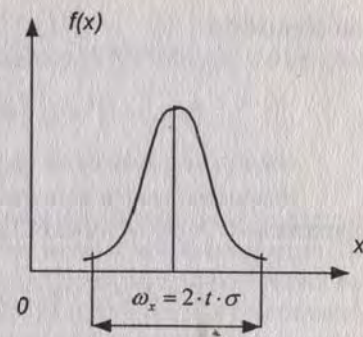
$$\psi = \frac{T}{\omega} \quad (14.18)$$

При $\psi \geq 1$ обработването може да се осъществи без брак (фиг. 14.9а), при $\psi < 1$ появата на брак е неизбежна (фиг. 14.9б). Следва да се отчита, че бракът може да се получи и при $\psi \geq 1$, ако в резултат на случайно-функционални грешки се получи неблагоприятно разположение на полето на разсейване относно допусковото поле (фиг. 14.9в).

Вероятността P за появата на стойностите на даден показател на качество (например размер) в интервала, определен от границите x_1 и x_2 , се определя



Фиг. 14.9. Точност на обработване



Фиг. 14.8. Поле на разсейване

по формулата

$$P(x_1 < X < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx. \quad (14.19)$$

Например, за нормалния закон вероятността P за появата на размера A в интервала от x_1 до x_2 (фиг.14.10) се определя по формулата

$$P = \phi(z_2) - \phi(z_1), \quad (14.20)$$

където $z = \frac{x}{\sigma}$, а $\phi(z)$ се определя таблично [5].

Ако x_1 и x_2 са долното и горното гранични отклонения, то вероятният брак ще се определи по формулата

$$q = 1 - P \quad (14.21)$$

Ако за условията на изпълнение на даден технологичен процес винаги се получава $\omega > T$ (т.е. $\psi < 1$), чрез подходящо разположение на полето на разсейване по отношение на допусковото поле може да се осигури само поправим брак (например, чрез дообработване на част от детайлите).

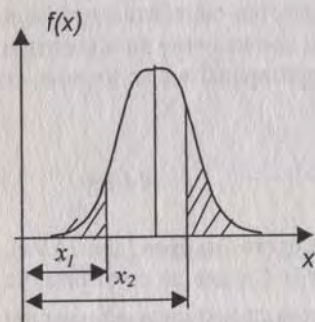
Пример 1. Да се определи вероятният процент брак за размер A с гранични отклонения $EI = -0.05 \text{ mm}$ и $ES = 0.05 \text{ mm}$ при разсейване на грешките по нормалния закон с числови характеристики $m = 0 \text{ mm}$ и $\sigma = 0.025 \text{ mm}$. Броят на детайлите в партидата е $n = 1000$.

Решение: $x_1 = x_2 = 0.05 \text{ mm}$;
 $z_1 = z_2 = 0.05 / 0.025 = 2$;
 $\phi(z_1) = \phi(z_2) = 0.4772$.

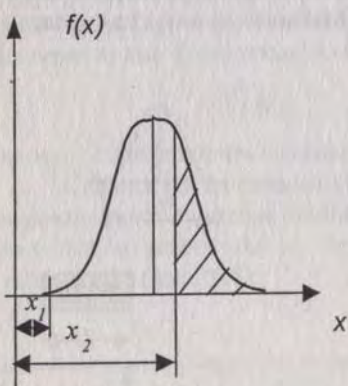
Процентът на годните детайли е $P = (0.4442 + 0.4772) \cdot 100 = 95.4 \%$, или 954 детайла. Бракът е 4.6%, или 46 детайла.

Пример 2. За условията на пример 1 да се осигури получаването само на поправим брак, ако размерът е обхващащ (фиг.14.11).

В този случай $x_1 = 3 \cdot \sigma = 0.075 \text{ mm}$, $z_2 = \sigma = 0.025 \text{ mm}$ и, съответно, $z_1 = 3$, $z_2 = 1$. Следователно $\phi(z_1) = 0.49865$;



Фиг. 14.10. Определяне само на поправим брак



Фиг. 14.11. Осигуряване само на поправим брак

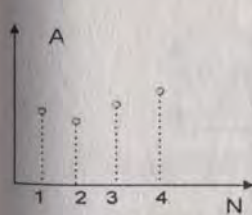
$$\phi(z_2) = 0.3413.$$

Вероятността за получаване на годни детайли е 0.83995 (84%); 160 детайла (16%) се очаква да бъдат поправим брак.

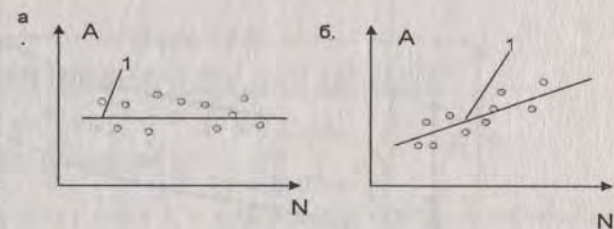
14.4. Изучаване на грешките чрез точкови диаграми

Точковата диаграма е график на изменението на стойностите на показателя на качество, получавани последователно в хода на технологичния процес. По абсцисната ос (фиг.14.12) се нанасят номерата на детайлите в тази последователност, в която те се обработват (или номерата на изделията при сглобяване), по ординатната ос - действителните стойности на контролирания показател на качество, например, стойностите на размера. Вместо действителните стойности е по-удобно да се нанасят отклоненията от предварително избрана друга стойност.

Когато за даден технологичен процес грешките се проявяват само като случайни, стойностите на показателя на качество се групират около линия, успоредна на абсцисната ос (фиг.14.13а). Такива технологични процеси се наричат статистически устойчиви. Такъв е характерът на технологичния процес, когато размерите се получават индивидуално (чрез пробни проходи или позициониране, вж. гл.7).



Фиг.14.12. Точкова диаграма



Фиг.14.13. Точкови диаграми на различни технологични процеси

При автоматично получаване на размерите технологичните процеси са статистически устойчиви, ако преобладават грешките от еластични деформации и износването на инструмента е пренебрежимо малко.

Ако проследим с помощта на точкова диаграма размерите, получавани при струговане на външна цилиндрична повърхнина върху машина, настроена на размер, ще забележим, че те постепенно се увеличават (фиг.14.13б). Това увеличаване в случая е предизвикано от размерното износване на режещия инструмент. На точковата диаграма размерите се групират около линията I , която не е успоредна на абсцисната ос и въобще може да не е права линия. Износването на инструмента в случая се проявява като случайно-функционална

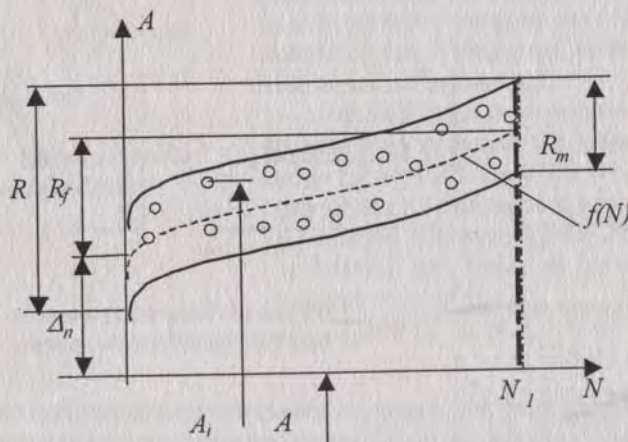
грешка. Технологичните процеси, характеризиращи се с точкови диаграми от вида, показан на фиг. 14.13б, се наричат технологически устойчиви.

Част от случайните и случайно-функционални грешки при определени условия могат да се проявяват като постоянни.

По точковата диаграма (фиг. 14.14) могат да се оценят:

- постоянната грешка Δ_n за определен брой опити N ;
- размахът R на грешките;
- размахът R_m на разсейването, предизвикано само от случайните грешки (мигновеният размах);
- размахът R_ϕ , предизвикан от случайно-функционалните грешки;
- кривата на изменение на случайно-функционалните грешки (реализацията на случайната функция $f(N)$ за изследваната съвкупност).

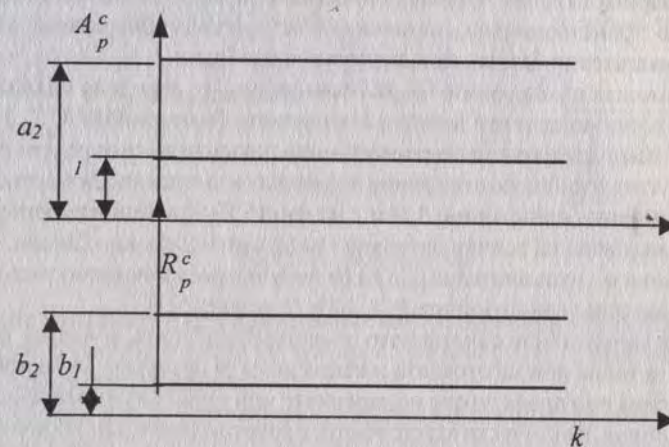
Точковите диаграми широко се използват за контролиране на качествените показатели на технологичния процес. За тази цел се използват диаграми, наречени *контролни карти*. В контролните карти не се нанасят размерите на всеки детайл, а избрани статистически характеристики на разсейването на група детайли. Най-често се нанасят размахът R_n в групата от n детайли и средният групов размер A_{cp} .



Фиг. 14.14. Общ вид на точкова диаграма

Предварително върху контролните карти се нанасят контролните граници a_1, a_2 на изменение на средния групов размер A_{cp} и контролните граници b_1, b_2 на изменение на размаха R_n (фиг. 14.15). Излизането на R_n вън от контролните граници е сигнал за нарушаване на нормалния ход на технологичния процес. В такъв случай трябва да се преустанови работата, да се открият причините за нарастването на R_n и да се отстранят.

При достигане на A_{cp} до контролните граници трябва да се извърши поднастройване на технологичната система.



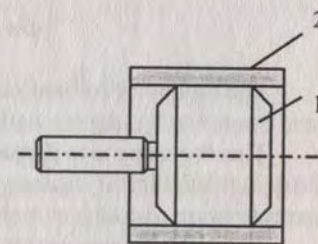
Фиг. 14.15. Контролна карта

Глава 15 УСТАНОВЯВАНЕ НА ДЕТАЙЛИТЕ

15.1. Основи на базирането

Както беше посочено в глава 1, машините изпълняват служебното си предназначение с помощта на изпълнителните си повърхнини. При това, ако в изделието отсъствуват каквито и да са относителни премествания, то може да се изпълни като един детайл (фиг. 15.1), за който е осигурено точно взаимно разположение на изпълнителните повърхнини.

В по-голямата част от случаите за да изпълнява изделието служебното си предназначение е необходимо да се извършва относително движение на изпълнителните му повърхнини. За това в процеса на конструиране изделието се оформя като съвкупност от множество детайли, ориентирани по определен начин един относно друг. При изпълнение на технологичните



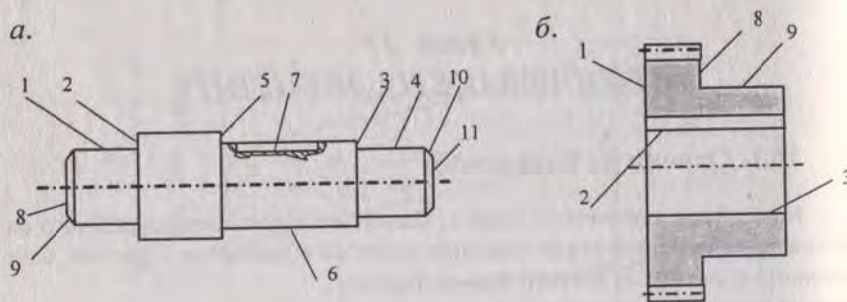
Фиг. 15.1. Изделие, състоящо се от един детайл
1 - калибър; 2 - втулка

процеси обработваните детайли (заготовките) се ориентират в координатната система на машината.

Ориентирането на детайлите или изделията относно избрана координатна система се нарича *базиране*. От гледна точка на базирането детайлите се разглеждат като пространствени тела, съставени от четири вида повърхнини: основни базови, спомагателни базови, изпълнителни и свободни.

С помощта на основните базови повърхнини се определя положението на детайла относно другите детайли в изделието (повърхнини 1, 2, 3 и 4 на фиг. 15.2). С помощта на спомагателните базови повърхнини се определя положението на другите детайли по отношение на дадения и по този начин по отношение на цялото изделие (повърхнини 5, 6 и 7 на фиг. 15.2). Свободните повърхнини служат за свързване на всички останали повърхнини (основни базови, спомагателни базови и изпълнителни), за да се получи пространствено тяло с необходимите качества (повърхнините 8, 9, 10 и 11 на фиг. 15.2).

Повърхнината (или съчетанието от повърхнини, оста, точката), принадлежаща на детайла или заготовката и използвана за базиране, се нарича *база*. Базата, избрана при проектиране на изделието или технологичните процеси, се нарича *проектна*, фактически използваната в конструкцията или технологичния процес - *действителна*. Например, при проектиране на вала (фиг. 15.2а) за проектна база се използва надлъжната му ос, действителните бази са повърхнините 1, 4 и 6 на шийките (1 и 4 са основни бази, 6 - спомагателна база).

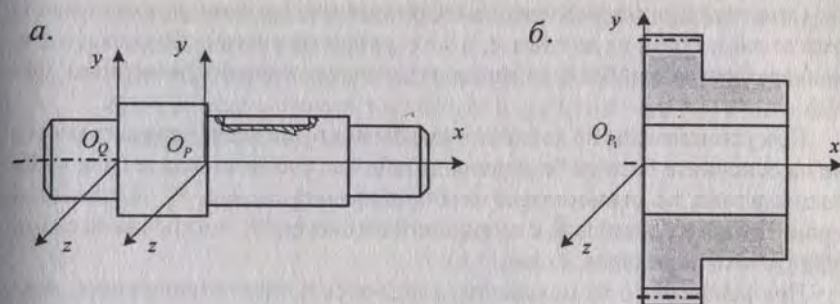


Фиг. 15.2. Видове повърхнини

Съвкупността от бази, еднозначно определящи координатна система, свързана с детайла, се нарича *комплект бази* (фиг. 15.3).

При базирането се решават последователно две взаимно свързани, но ясно разграничени задачи - *математична* и *механична*, съответно, със средствата на математиката и на класическата механика.

При решаването на математичната задача се дефинира координатна система, свързана с детайла. При това детайлът се разглежда като обемна геометрична фигура. При конструирането координатната система е известна, към нея се привързва обемна геометрична фигура с елементи, съвпадащи с коор-



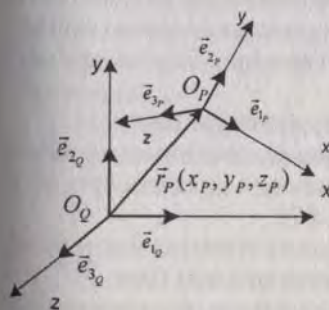
Фиг. 15.3. Комплект бази

динатните равнини [3]. При проектиране на технологичните процеси обемната геометрична фигура е зададена, избират се елементите и, еднозначно определящи координатна система.

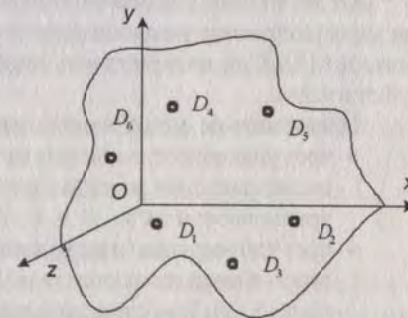
Положението на една координатна система спрямо друга се определя от шест независими координати, в частност това могат да бъдат трите координати $\vec{r}(x_p, y_p, z_p)$ на началото O_p на координатната система P в координатната система Q и трите ъгли на Ойлер φ_p, ψ_p и θ_p , определящи матрицата M_p на прехода от базиса $e_{1_p}, e_{2_p}, e_{3_p}$ към базиса $e_{1_q}, e_{2_q}, e_{3_q}$ (фиг. 15.4).

Дефинирането на координатната система се извършва с подбирането на шест точки A_i (фиг. 15.5) такива, че три от тях определят една координатна равнина (например, zOx), две - втората координатна равнина (например, zOy) и една - третата координатна равнина (yOz), т.е. точките са разположени по правилото $3+2+1$ [12]. По такъв начин при решаването на математичната задача се определят проектните бази като геометрични елементи на обемна геометрична фигура. Тези елементи могат да бъдат два вида:

- реални повърхнини;
- равнини, оси или центрове на симетрия.



Фиг. 15.4. Взаимно разположение на координатните системи

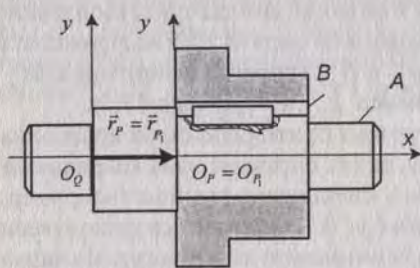


Фиг. 15.5. Разположение на координатните точки

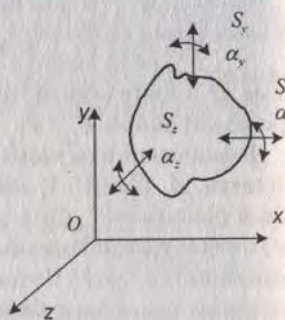
Относителното положение на координатната система P , построена на спомагателните бази на детайла A , и координатната система Q , построена на основните бази на детайла B , се определя от конструктивните размери (вж. фиг. 15.3а).

При установяване на детайлите (заготовките) се осъществява съвместяване на основните бази на базиращия детайл със спомагателните бази на базиращия детайл, т.е. съвместяване на координатната система P , построена на основните бази на детайла B , с координатната система Q , построена на спомагателните бази на детайла A (фиг.15.6).

При решаването на механичната задача се налагат ограничения, определящи положението на координатната система, дефинирана при решаването на математичната задача, в предварително избрана координатна система [12]. По такъв начин на детайла се отнемат шестте независими степени на свобода, които той има в пространството (фиг.15.7). При решаването на тази задача детайлът се разглежда като абсолютно твърдо тяло.



Фиг.15.6. Съвместяване на базите



Фиг.15.7. Степени на свобода на детайла

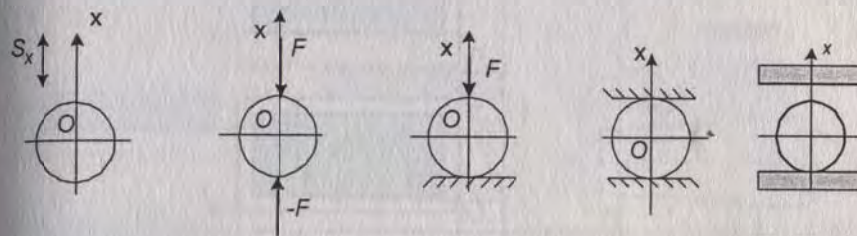
Ограничение се нарича отнемането на възможността на едно тяло да извършва движение независимо от това, с какви средства се отнема тази възможност [1]. При налагането на ограничения проектните бази се заменят с действителни.

Налагането на ограничения може да се извърши по три начина:

- чрез уравновесена система от сили. Например, движението на сферата по направление на оста (фиг.15.8а) може да се ограничи чрез двете уравновесени сили F и $(-F)$ (фиг.15.8б);
- чрез едностранна (неудържаша) връзка и сила, такава, че заедно с реакцията в опората да образува уравновесена система от сили $\sum F_i = 0$ (фиг.15.8в). Едностранната връзка сама по себе си не представлява ограничение, тъй като не е приложена сила, удовлетворяваща условието $\sum F_i = 0$, и движението по едната посока на съответната ос е възможно.

Контактът на двете тела - ограничаваното и налагащото ограничения, се извършва в една точка;

- чрез двустранна (удържаша) връзка (фиг.15.8г). Тялото, на което се налага ограничения, контактува в две точки с едно или две различни тела, налагащи ограничения.



Фиг.15.8. Налагане на ограничения

При отнемане на шест независими степени на свобода чрез налагане на шест двустранни връзки тялото контактува в дванадесет точки с тялото или телата, налагащи връзките.

Връзките са стационарни и нестационарни (кинематични). Във втория случай тялото, налагащо връзката, извършва движение по зададен закон.

При базирането на детайлите като проектни бази най-често се използват геометричните елементи точка, равнина, линия (като пресечница на две равнини, т.е. като ос на симетрия). Реализираните на основата на тези геометрични елементи базови повърхнини трябва да бъдат такива, че да позволяват икономично достигане на точността им в процеса на изработване. Във връзка с това са се наложили следните повърхнини: равнина, сфера, цилиндър, конус.

За да могат да се съвместят координатните системи при базирането базовите повърхнини трябва да са съвместими, т.е. да могат да се сдружават една с друга.

Ще използваме понятието “свойство на повърхнината да бъде база”, т.е. свойството на повърхнината да налага определен брой едностранни или двустранни връзки при сдружаване без хлабина с подобна геометрична повърхнина (таблица 15.1).

Прието е наложените ограничения да се наричат опорни точки и да се изобразяват графично по следния начин:

- при поглед към опорната точка отгоре или отдолу със знака \bigcirc или \diamond .
- при поглед към опорната точка от страни - със знака \wedge .

Трябва обаче изрично да подчертаем, че броят на налаганите от една повърхнина ограничения, т.е. броят на отнеманите степени на свобода, няма нищо общо с броя на реалните точки на контакт между базиращата и базираната повърхнини.

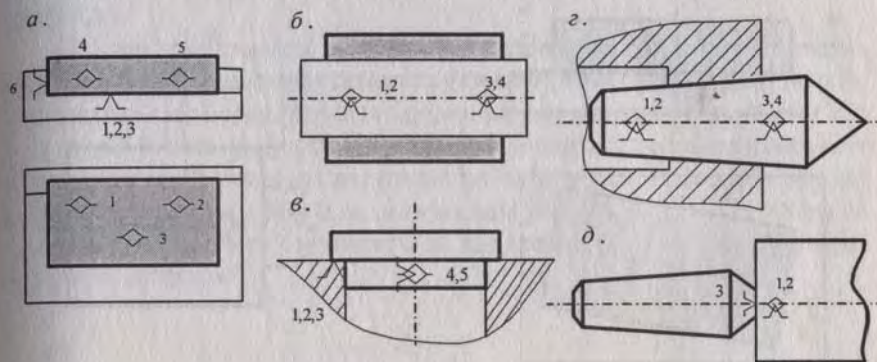
Таблица 15.1

Вид на сдружаваните повърхнини	Брой и вид на налаганите ограничения	
Равнина	3	
Сфера	3	
Цилиндър	4	
Конус	5	

Ограничения на възможностите на една повърхнина да отнема реално посочените в таблица 15.1 степени на свобода се налагат от изискванията за точността на ориентиране на детайла или заготовката, точността на размерите, формата и взаимното разположение на базовите повърхнини и съотношението на размерите на тези повърхнини. Поради това е необходимо да се спазват следните препоръки:

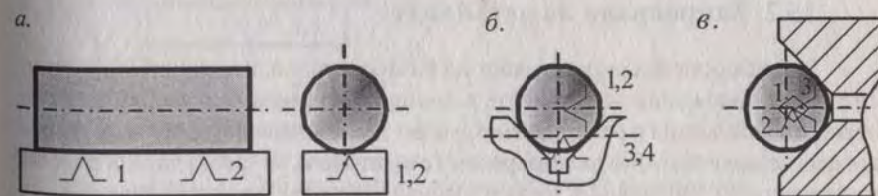
- равнина с най-големи габаритни размери да се използва за отнемане на три степени на свобода, равнината с най-голяма дължина - за отнемане на две степени на свобода (фиг. 15.9а);

- дългите цилиндрични повърхнини да се използват за отнемане на четири степени на свобода, късите - за отнемане на две степени на свобода (фиг. 15.9б,в);
- дългите конусни повърхнини да се използват за отнемане на пет степени на свобода, късите - за отнемане на две или три степени на свобода (фиг. 15.9г,д).



Фиг. 15.9. Използване на различните повърхнини за налагане на ограничения

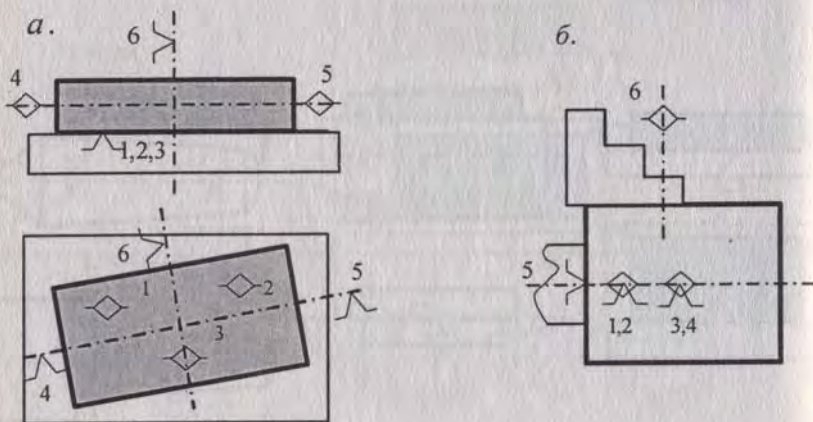
При сдружаване на различни геометрични повърхнини броят на налаганите ограничения е различен, но не може да бъде по-голям от посочения в таблица 15.1. Например, при установяване на цилиндър и конус върху равнина (фиг. 15.10а) наложените ограничения са две; при установяване на цилиндър в призма (две равнини) - четири (фиг. 15.10б); при установяване на сфера в конус - три (фиг. 15.10в) и т. н.



Фиг. 15.10. Налагане на ограничения при сдружаване на различни повърхнини

Когато ограниченията се налагат чрез уравновесена система от сили, условните знаци за базиране се нанасят извън габаритите на детайла. Например, при установяването на детайли върху магнитната маса на плоско-шлифовъчната

машина (фиг.15.11) действителна база е само повърхнината *A*, налагаща три ограничения (отнемаща три степени на свобода). Ориентирането на обработвания детайл върху масата на машината се извършва на око, без използване на реални базови повърхнини както на детайла, така и на приспособлението.



Фиг. 15.11. Налагане на ограничения чрез уравновесена система от сили

По предназначение базите са два вида: конструкторски и технологични.

Базите, използвани за определяне на положението на детайлите и възлите в изделието, се наричат конструкторски (вж. фиг.15.2).

Базите, използвани за определяне на положението на заготовката или изделието при изработване, измерване, сглобяване или ремонт, се наричат технологични. Класификацията на технологичните бази е разгледана в глава 17.

15.2. Закрепване на детайлите

За да се осигури определеност на базирането, т.е. неизменност на относителното положение на детайлите в процеса на работа на изделието или на обработвания детайл и режещия инструмент при изпълнение на технологичния процес, детайлите трябва да се закрепят. Това означава, че трябва да се определят направлението, приложената точка и големината на силата на закрепване *F*.

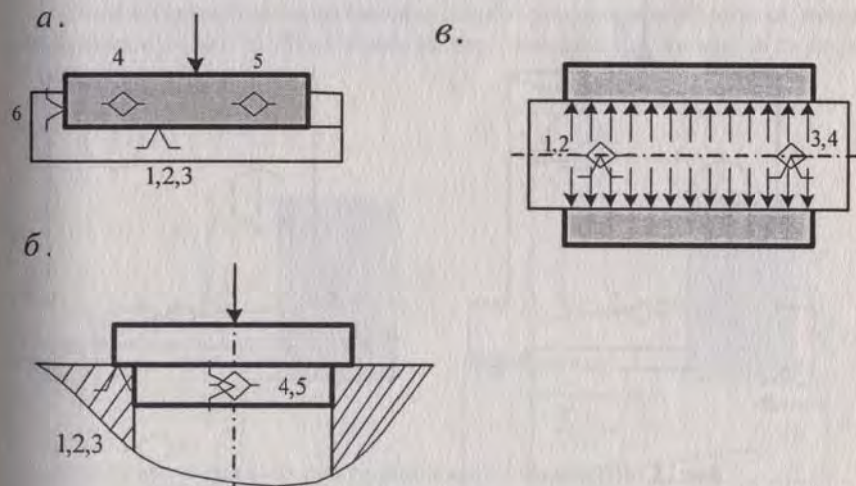
Направлението на силата на закрепване се определя от схемата на базиране. От гледна точка на дефиниране на координатната система цялото многообразие от схеми на базиране може да се сведе до три схеми:

1. Като проектна база, налагаща три ограничения, се използва равнина. В този случай действителната база съвпада с проектната. Връзките, които налага равнинната повърхнина, са едностранни (неудържащи). За да се превърнат тези връзки в двустранни (удържащи), силата на закрепване трябва да бъде насочена

към равнината, налагаща три ограничения (фиг.15.12а,б).

2. Като проектна база, налагаща четири ограничения, се използва ос на симетрия. В този случай действителната база е цилиндрична или конусна повърхнина. Връзките, които налагат тези повърхнини при сдружаване са двустранни (удържащи). За да се осигури съвместяване на осите на симетрия на базираня и базиращия детайл силите на закрепване трябва да са разпределени равномерно по базиращата повърхнина и да са перпендикулярни към нея (фиг.15.12в).

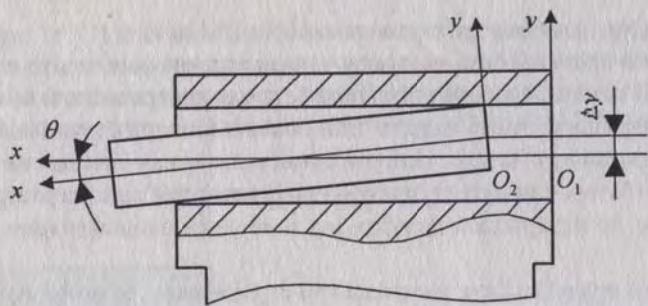
3. Като проектна база, налагаща три ограничения, се използва точка на симетрия. В този случай действителната база е сферична повърхнина. Връзките, които налага тази повърхнина при сдружаване са двустранни (удържащи). И в този случай за да се осигури съвместяване на точките на симетрия на базираня и базиращия детайл силите на закрепване трябва да са разпределени равномерно по базиращата повърхнина и да са перпендикулярни към нея. Тази схема се използва в механизмите и машините, но на практика не се използва при обработване на детайлите.



Фиг.15.12. Две принципни схеми на налагане на ограничения

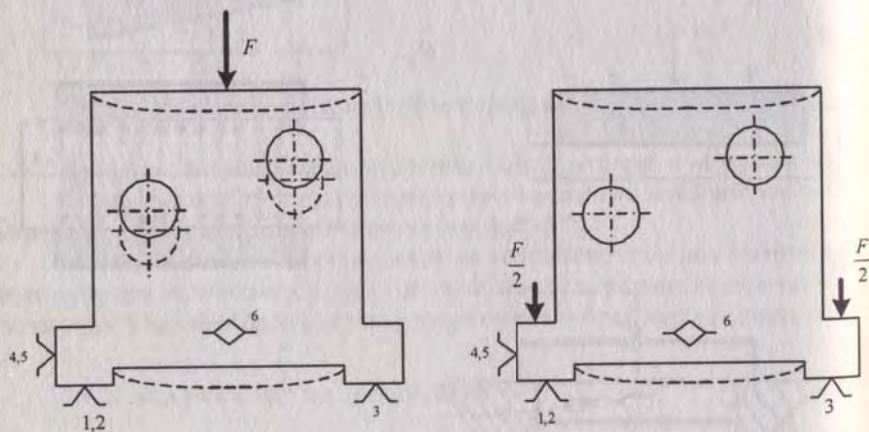
При сдружаване с хлабина базираня детайл може да се премества относно координатната система на базиращия детайл в границите на хлабината (фиг.15.13). Това води до неопределеност на базирането, т.е. до грешки. За избягването на тези грешки сдружаването трябва да се извършва със стегнатост.

Приложената точка на силата на закрепване се избира така, че механизмът за закрепване на приспособлението да не пречи на обработването на детайла.



Фиг.15.13. Сдружаване с хлабина

Освен това за намаляване на еластичните деформации на обработвания детайл силите на закрепване трябва да се разполагат срещу опорните точки (фиг.15.14).



Фиг.15.14. Избиране на приложната точка на силата на закрепване

Големината на силата на закрепване се избира от условието:

$$F > \sum F_{p_i}; \quad (15.1, a)$$

$$M_F > \sum M_{F_{p_i}}, \quad (15.1, б)$$

където $\sum F_{p_i}$ е сумата на външните сили, стремящи се да нарушат относителното разположение на детайлите (например, силите на рязане); M_F - моментът на силата на закрепване; $\sum M_{F_{p_i}}$ - сумата от моментите на външните

сили.

При неправилно избрани големина, направление или приложна точка на силата на закрепване възниква явлението неорганизирана смяна на базите, т.е. смяна на едни повърхнини, избрани за базови, с други.

Повърхнината A (фиг. 15.15a) е избрана за базираща повърхнина, отнемаща три степени на свобода, повърхнината B - за базираща повърхнина, отнемаща две степени на свобода. Ако силата на закрепване F е насочена към повърхнината B и ако

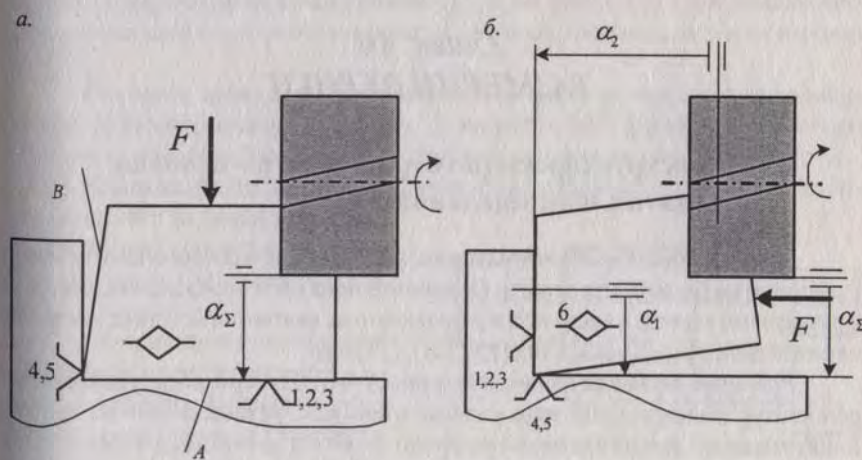
$$M(F) > M(G) + M(T),$$

то три степени на свобода ще бъдат отнети по повърхнината B, а две - по повърхнината A (T е силата на триене) (фиг.15.15б). При това ще възникне непредвидена грешка на взаимното разположение на повърхнините:

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_1 + \alpha_2;$$

$$\omega_{\Sigma} = \omega_1 + \omega_2.$$

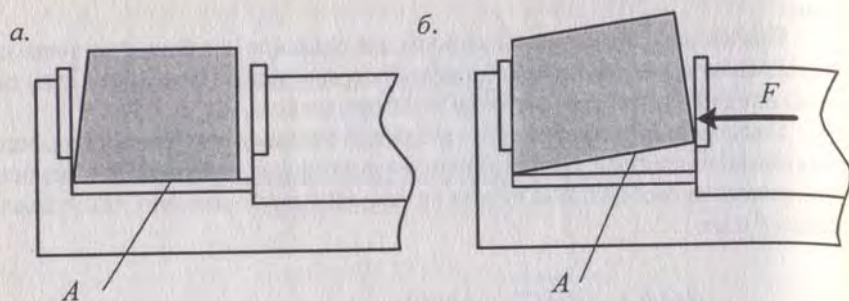
Типичен пример за такава смяна на базите е установяването в стиски, когато повърхнината A (фиг. 15.16) е избрана за база, отнемаща три степени на свобода.



Фиг.15.15. Неорганизирана смяна на базите

Неорганизирана смяна на базите може да възникне и през време на обработване на детайлите в резултат на неправилно избрана големина на силите на закрепване. В повечето случаи това води до аварии.

За закрепване се използват: силите на еластичните деформации на де-



Фиг.15.16. Установяване в стиски

тайлите, силите на триене, силите на собственото тегло, магнитни, електромагнитни и др. сили.

Процесите на базиране и закрепване се обединяват с понятието *установяване*.

Глава 16 РАЗМЕРНИ ВЕРИГИ

16.1. Конструкторски размерни вериги - основни понятия и определения

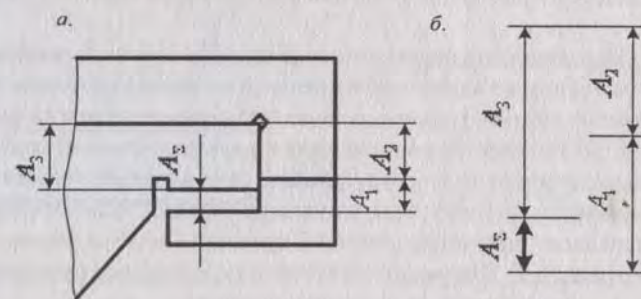
На етапа проектиране показателите на точност на изделията се осигуряват с помощта на размерните вериги. Основните понятия и определения, свързани с размерните вериги, а също така и решаването на съответните задачи, подробно са разгледани в [3], [7], [12], [14], [15], [21], [29] и др.

Размерна верига се нарича съвкупността от размери, образуващи затворен контур и определящи точността на взаимното разположение на повърхнините на даден детайл или на два различни детайла в дадено изделие (фиг. 16.1а). В зависимост от схемата на базиране на детайла, вместо повърхнини могат да се разглеждат равнини, оси или центрове на симетрия.

Графичното изображение на размерната верига се нарича *схема на размерната верига* (фиг. 16.1б). Всеки от размерите, образуващи размерната верига, се нарича *звено* на размерната верига. Звената се обозначават с големите букви на кирилицата и съответни индекси.

Изходно или *затварящо* звено на размерната верига е размерът, непо-

средствено свързващ повърхнините, точността на взаимното разположение на които трябва да се определи или осигури при решаване на поставената задача. Това звено се бележи с индекс Σ , например A_{Σ} .



Фиг.16.1. Размерна верига

Съставно звено на размерната верига е всеки размер, при изменението на стойността на който се изменя стойността на затварящото звено. Съставните звена се обозначават с индекси от 1 до n . Броят на съставните звена в конструкторска размерна верига е $n \geq 2$.

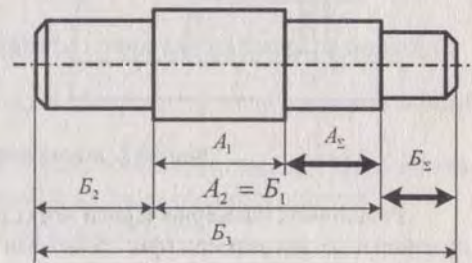
Съставно звено, при увеличаването на което се увеличава затварящото звено, се нарича *увеличаващо* (звена A_1, A_2 на фиг. 16.1б). При необходимост увеличаващите звена се обозначават със стрелка, насочена надясно (например A_1, A_2).

Съставно звено, при увеличаването на което се намалява затварящото звено, се нарича *намаляващо* (звено A_3 на фиг. 16.1б). При необходимост намаляващите звена се обозначават със стрелка, насочена наляво (например A_3).

Компенсиращо звено е предварително избрано съставно звено, чрез изменението на размера на което се осигурява точността на затварящото звено. Обозначава се с индекс k (например, A_k).

Размерните вериги се класифицират по предназначение и по вида на звената. В зависимост от предназначението си размерните вериги са конструкторски и технологични.

Конструкторските размерни вериги са модел на размерните връзки, възникващи при конструирането на изделията. Има два вида конструкторски размерни вериги: сборъчни и детайлни (фиг. 16.2).



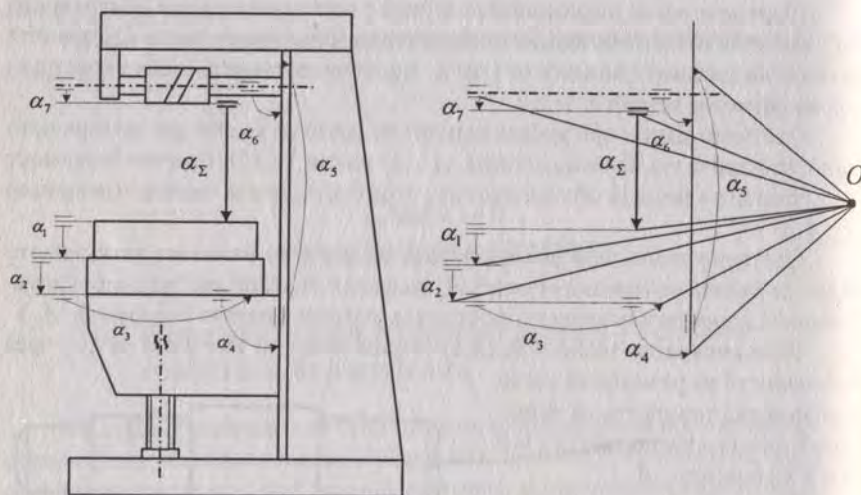
Фиг.16.2. Детайлна размерна верига

Технологичните размерни вериги са модел на размерните връзки, възникващи при проектиране и изпълнение на ехнологичните процеси за изработване на детайлите, сглобяване на изделията и измерване на показателите на точност на детайлите и изделията. Подробно тези размерни вериги са разгледани в глава 16.

Звената на размерните вериги могат да бъдат *линейни* и *ъглови размери*.

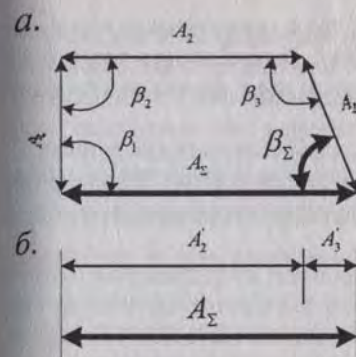
Размерна верига, на която всички звена са взаимно успоредни линейни размери, се нарича *линейна размерна верига* (размерните вериги на фиг. 16.1 и 16.2). По същество линейните размерни вериги определят относителното положение на повърхнините на изделието (детайла) само в едно негово сечение.

Размерна верига, на която звената са *ъглови* размери, включително отклонение от успоредност, перпендикулярност, праволинейност и равнинност, се наричат *ъглови* (фиг. 16.3). В случаите, когато звената на *ъгловата* размерна верига са успоредни на една равнина, тя се нарича *равнинна*.

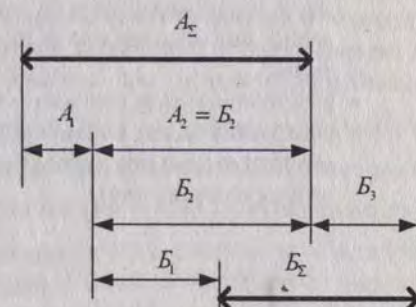


Фиг. 16.3. Углова размерна верига

Равнинните размерни вериги могат да бъдат съставени едновременно от линейни и *ъглови* размери (фиг. 16.4а). Когато затварящото звено е *линеен* размер чрез проектиране на линейните размери - съставни звена върху *направлението* на затварящото звено тези вериги се свеждат до *линейни* (фиг. 16.4б). При това обаче *ъгловите* размери се разглеждат като *постоянни* величини, с което се допускат известни грешки. Когато затварящото звено е *ъглов* размер, тези вериги се решават като *равнинни*.



Фиг. 16.4. Равнинни размерни вериги



Фиг. 16.5. Свързани размерни вериги

В случаите, когато звената на размерната верига (*ъглови* и *линейни* или само *ъглови*) не са успоредни на една равнина, размерната верига се нарича *пространствена*. Такива размерни вериги се свеждат до *линейни* или *равнинни* чрез проектиране на съставните звена върху *направлението* или *равнината* на затварящото. Очевидно е, че в случая използването на термина *пространствени* размерни вериги е *некоректно*, тъй като по същество *пространствения* характер на връзките се заменя с *равнинен* или *линеен* [12]. По-нататък ще разглеждаме *линейни* и *равнинни* размерни вериги.

Размерните вериги могат да бъдат свързани една с друга. *Успоредно свързани* са размерните вериги, които имат поне едно общо звено (фиг. 16.5). *Последователно свързани* са размерните вериги, които имат поне една обща база.

16.2. Построяване на конструкторски размерни вериги

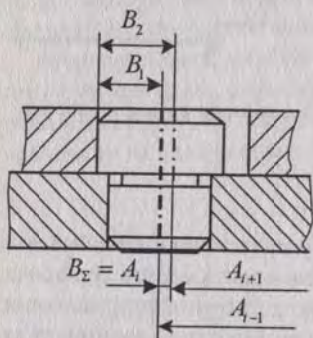
Построяването на конструкторски сборъчни *линейни* размерни вериги се извършва в следния ред:

1. Намира се изходното звено съгласно поставената задача. Такива звена в конструкторските размерни вериги могат да бъдат следните размери:

- разстояния между изпълнителни повърхнини;
- хлабини;
- разстояния между изпълнителни и свободни повърхнини; разстояния между свободни повърхнини.

2. Тръгва се от единия край на изходното звено и се достига до другия му край по възможно най-късия път чрез последователно включване на размери - съставни звена. Съставни звена могат да бъдат следните размери:

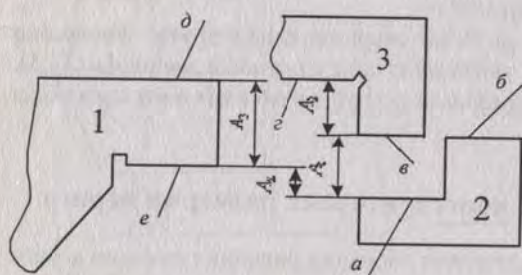
- разстояния между повърхнините на детайлите, ограничаващи изходното звено и основните бази на тези детайли. Такива звена в размерната верига има само две и те са разположени от двете страни на изходното звено;
- разстояния между основните и спомагателни бази на един детайл;
- разстояния между спомагателните бази на един детайл. В размерната верига има само една такава звено и то принадлежи на корпусния детайл на изделието (възела).



Фиг. 16.6. Звено-хлябина

При сглобяване на съединения от типа вал-отвор, винт-гайка, шпонка-канал и др. е възможно изместване на двата сглобявани детайла в границите на хлябината. Това изместване се отчита чрез включване на хлябините като съставни звена в съответните размерни вериги. Хлябината A_i обаче не е независимо съставно звено, а затварящо звено на тризвенна размерна верига със съставни звена обхващащия B_1 и обхванатия B_2 размери (размерната верига на фиг. 16.6):

$$A_i = B_{\Sigma} = B_1 - B_2.$$



Фиг. 16.7. Построяване на размерна верига

Всеки един от размерите - съставни звена принадлежи на отделен детайл на изделието. Всеки детайл участва в размерната верига само с един свой размер.

Пример 1: При оразмеряване на възела от фиг. 16.1 е необходимо да се осигури големината на хлябината между направляващата на тялото 1 и планката 2. Изходно звено в такъв случай е размерът A_{Σ} - разстоянието между повърхнините a и e на планката и тялото, съответно (фиг. 16.7).

Тръгва се от единия край на изходното звено, например, от повърхнината a . Основна база, отнемаща възможността на планката да се премества по направлението на затварящото звено (оста x), е повърхнината b . Следователно, размерът A_1 , свързващ повърхнините a и b на планката, е първото съставно звено на размерната верига. При сглобяване основната база на планката 2 (повърхнината b) се сдружава без хлябина със спомагателната база на плъзгача 3 (повърхнината e). Основна база на плъзгача 3, отнемаща възможността му да

се премества по направление на оста x , е повърхнината z . Следващият размер - съставно звено е размерът A_2 , свързващ спомагателната e и основната z повърхнините. Основната базова повърхнина на плъзгача 3 (повърхнината z) при сглобяване се сдружава без хлябина със спомагателната база на тялото 1 (повърхнината d). Но изходният размер A_{Σ} е ограничен от едната страна от повърхнината e на тялото. Следователно, последното съставно звено е размерът A_3 , свързващ спомагателната база на тялото (повърхнината d) и повърхнината e на същия този детайл. При това получихме най-късия затворен контур от размери, всеки един от трите детайла на възела участва в размерната верига с един свой размер, всеки от трите размера принадлежи на отделен детайл.

След построяването на размерната верига трябва да се запише нейното изходно уравнение. За линейни размерни вериги с взаимно успоредни размери то е следното:

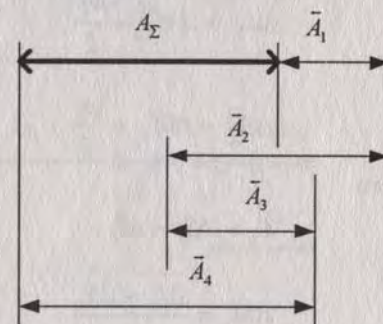
$$A_{\Sigma} = \sum_1^n \sum a_i \cdot A_i, \quad (16.1)$$

където a_i приема стойностите (+1) или (-1) в зависимост от това, дали съставното звено е увеличаващо или намаляващо, съответно. Знаците на съставните звена (предавателните коефициенти) се определят по следния алгоритъм (фиг. 16.8):

- обхожда се размерната верига като се тръгва от левия край на затварящото звено в положителна посока на оста x (направлението на координатната ос x съвпада с направлението на затварящото звено);
- съставните звена, които се срещат при обхождането на размерната верига при движение към положителната посока на оста x , са намаляващи ($a_i = -1$), останалите са увеличаващи ($a_i = +1$).

За размерната верига на фиг. 16.7 уравнението е следното:

$$A_e = A_1 + A_2 - A_3.$$



$$a_1 = a_3 = -1; \quad a_2 = a_4 = +1$$

Фиг. 16.8. Определяне на знаците на звената

16.3. Решаване на проверочната задача на размерните вериги

Чрез размерните вериги се решават две задачи: проверочна и проектна. При решаването на проверочната задача се определя номиналната стойност A_{Σ} и граничните отклонения ΔI_{Σ} и ΔS_{Σ} на затварящото звено при зададени номинални стойности A_i и гранични отклонения ΔI_i и ΔS_i на съставните звена. При това сумирането на грешките се извършва по два метода: минимум-максимум и вероятностен.

Метод минимум-максимум. При решаването по този метод от уравнение (16.1) следват уравненията

$$\omega_{\Sigma} = \sum_1^n |a_i| \cdot \omega_i; \quad (16.2)$$

$$\Delta M_{\Sigma} = \sum_1^n a_i \cdot \Delta M_i; \quad (16.3)$$

$$\Delta I_{\Sigma} = \Delta M_{\Sigma} - \frac{\omega_{\Sigma}}{2}; \quad (16.4)$$

$$\Delta S_{\Sigma} = \Delta M_{\Sigma} + \frac{\omega_{\Sigma}}{2}; \quad (16.5)$$

където

$$\omega_i = \Delta S_i - \Delta I_i; \quad (16.6)$$

$$\Delta M_i = \frac{\Delta I_i + \Delta S_i}{2}. \quad (16.7)$$

В горните уравнения ΔM е средно отклонение.

Ако полето на разсейване ω (или размахът) на съставното звено е ограничено с допуск T , то вместо уравнения (16.2)...(16.5) могат да се използват уравненията:

$$\omega_{\Sigma} = \sum_1^n |a_i| \cdot T_i; \quad (16.8)$$

$$\Delta M_{\Sigma} = \sum_1^n a_i \cdot EM_i, \quad (16.9)$$

където

$$T_i = ES_i - EI_i; \quad (16.10)$$

$$EM_i = \frac{EI_i + ES_i}{2}. \quad (16.11)$$

Пример 1. За размерната верига, показана на фиг.16.9, е известно: $B_1 = B_3 = 10_{-0.1} \text{ mm}$; $B_2 = 180_{-0.1} \text{ mm}$; $B_4 = B_8 = 5^{+0.06} \text{ mm}$; $B_5 = B_7 = 1_{-0.01} \text{ mm}$; $B_6 = 208^{+0.1} \text{ mm}$. Да се определят номиналната стойност и граничните отклонения на затварящото звено B_{Σ} .

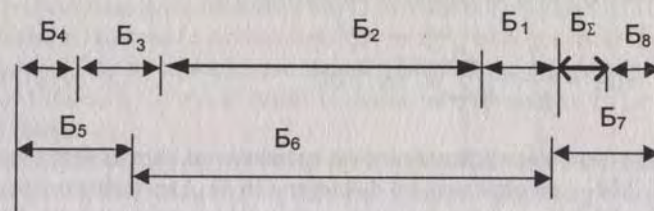
От уравнения (15.1)...(15.11) получаваме:

$$B_{\Sigma} = -10 - 180 - 10 - 5 + 1 + 208 + 1 - 5 = 0 \text{ mm}.$$

$$\omega_{\Sigma} = 0.1 + 0.1 + 0.1 + 0.06 + 0.01 + 0.1 + 0.01 + 0.06 = 0.54 \text{ mm};$$

$$\Delta M = -(-0.05) - (-0.05) - (-0.05) - 0.03 + (-0.005) + (-0.05) + (-0.005) - 0.03 = 0.05 + 0.05 + 0.05 - 0.03 - 0.005 - 0.05 - 0.005 - 0.03 = 0.03 \text{ mm}$$

$$\Delta I_{\Sigma} = 0.03 - \frac{0.54}{2} = -0.24 \text{ mm}; \quad \Delta S_{\Sigma} = 0.03 + \frac{0.54}{2} = 0.30 \text{ mm}.$$



Фиг.16.9. Схема на размерната верига

Вероятностен метод. От теорията на вероятностите е известно, че за линейната функция $y = \sum_1^n a_i \cdot x_i$ са в сила зависимостите

$$y = \sum_1^n a_i \cdot x_i$$

$$m_y = \sum_1^n a_i \cdot m_{x_i}; \quad (16.12)$$

$$D_y = \sum_1^n a_i^2 \cdot D_{x_i}. \quad (16.13)$$

Ако грешките на всички съставни звена на размерната верига се разсейваха по един и същи закон, то от уравнение (16.13) непосредствено би могло да се премине към уравнение, свързващо полетата на разсейване на затварящото и съставните звена. Но грешките на съставните звена се разсейват по различни закони, а за различните закони коефициентът t_i във формулата за определяне на полетата на разсейване (14.17) е различен.

За да се премине от уравнение (16.13) към уравнение, свързващо полетата на разсейване на затварящото и съставните звена, е въведен коефициент на относително разсейване K_i [3]. Този коефициент характеризира степента на различие на разсейването на грешките по даден закон по сравнение с разсейването по нормалния закон.

Ако разсейването на грешките на затварящото звено A_Σ се подчинява на нормалния закон на разпределение, се получава

$$2 \cdot t_\Sigma \cdot \sigma_\Sigma = \omega_\Sigma = \sqrt{\sum_1^n a_i^2 \cdot K_i^2 \cdot \omega_i^2}. \quad (16.14)$$

Коефициентът t_Σ зависи от приетата вероятност на попадане на грешките на затварящото звено в интервала, ограничен от полето на разсейване $\omega_\Sigma = 2 \cdot t_\Sigma \cdot \sigma_\Sigma$.

Ако броят на съставните звена n е по-малък от 5, то няма основание да се приеме, че грешките на затварящото звено ще се разсейват по нормалния закон. В такъв случай се въвежда коефициентът K_Σ :

$$\omega_\Sigma = \frac{1}{K_\Sigma} \cdot \sqrt{\sum_1^n a_i^2 \cdot K_i^2 \cdot \omega_i^2}. \quad (16.15)$$

Ако законите на разпределение на грешките на съставните звена са симетрични, ΔM_Σ се определя по формула (16.3). Ако тези закони са несиметрични, то ΔM_Σ не съпада с m_Σ . За такива случаи е въведен коефициентът на относителна асиметрия S_i [3]:

$$S_i = \frac{m_i - \Delta M_i}{0.5 \cdot \omega_i}. \quad (16.16)$$

Следователно,

$$m_i = \Delta M_i + 0.5 \cdot \omega_i \cdot S_i; \quad (16.17)$$

$$\Delta M_\Sigma = \sum_1^n a_i \cdot \left(\Delta M_i + S_i \cdot \frac{\omega_i}{2} \right). \quad (16.18)$$

Стойностите на S_i са в границите на (± 0.5) и се определят опитно-ста-

тистически. За симетрични закони $S_i = 0$.

Ако полетата на разсейване на съставните звена са ограничени с допуски, то във формули (16.13)...(16.18) вместо величините ω_i и ΔM_i могат да се използват, съответно, величините T_i и EM_i .

Пример 2. Да се определят вероятното поле на разсейване и граничните отклонения за предидущия пример, ако грешките на съставните звена се разсейват по закона на триъгълника.

За условията на задачата $K_i = 1.2$, $K_\Sigma = 1$, $S_i = S_\Sigma = 0$. Следователно,

$$\Delta M_\Sigma = 0.03 \text{ mm};$$

$$\omega_\Sigma = 1.2 \cdot \sqrt{4 \cdot (0.1)^2 + 2 \cdot (0.01)^2 + 2 \cdot (0.06)^2} = 0.26 \text{ mm};$$

$$\Delta I_\Sigma = 0.03 - \frac{0.26}{2} = -0.10 \text{ mm}; \quad \Delta S_\Sigma = 0.03 + \frac{0.26}{2} = 0.16 \text{ mm}.$$

Както се вижда, вероятното поле на разсейване при риск $P = 0.27\%$ е повече от два пъти по-малко от изчисленото по метода минимум-максимум.

16.4. Методи за осигуряване на точността на затварящото звено

При решаване на проектната задача са известни номиналната стойност A_Σ и допустимите граничните отклонения EI_Σ и ES_Σ (или допускът T_Σ и средното отклонение EM_Σ на затварящото звено). Необходимо е да се определят номиналните стойности A_i и допустимите гранични отклонения EI_i и ES_i на съставните звена.

Определяне на номиналните стойности. Най-често номиналните стойности за $(n-1)$ съставни звена също са известни – определят се от конструктивни съображения. При решаването на размерната верига се определя номиналната стойност само на едно от звената A_k , избрано за компенсиращо

$$A_k = \frac{A_\Sigma - \sum_1^{n-1} a_i \cdot A_i}{a_k}. \quad (16.19)$$

Определяне на допуските. Тъй като имаме само една формула, свързваща допуските на затварящото и съставните звена (формула 16.1), а неизвестните допуски на съставните звена са $(n-1)$, задачата има безброй много решения. За да се избере едно от тях се използват различни критерии:

1. *Минимална себестойност на произвежданото изделие.* Използването на този критерий предполага наличието на модели, описващи целия процес на

проектиране, изработване и експлоатация на изделието. На практика този критерий се свежда до назначаване на икономически изгодни допуски за $(n-1)$ съставни звена, като се изхожда от опита на конструктора и подобни съществуващи решения, а също така от средния допуск T_{cp}

$$T_{cp} = \frac{T_{\Sigma}}{n} \quad (16.20)$$

За едно от звената, избрано за компенсиращо, допускът T_k се определя от формули (16.8) или (16.15) в зависимост от избрания метод за сумиране на грешките.

Такова разпределяне на допуските се нарича *подбиране на допуските*.

2. *Еднаква степен на точност*. Допуските на съставните звена се определят така, че да бъдат от една и съща степен на точност.

Определяне на средните отклонения. Средните отклонения за $(n-1)$ съставни звена се назначават от конструктора, за едно от звената, избрано за компенсиращо, средното отклонение EM_k се определя по формулата

$$EM_k = \frac{EM_{\Sigma} - \sum_{i=1}^{n-1} (a_i \cdot EM_i + 0.5 \cdot \alpha_i \cdot T_i) - 0.5 \cdot \alpha_k \cdot T_k}{a_k} \quad (16.21)$$

При симетрични закони на разпределение ($\alpha_i = 0$) от у-ние (16.21) се получава

$$EM_k = \frac{EM_{\Sigma} - \sum_{i=1}^{n-1} a_i \cdot EM_i}{a_k} \quad (16.22)$$

При определяне на номиналните стойности, допуските и средните отклонения като компенсиращи могат да се избират различни съставни звена.

При сглобяване на изделието трябва да са изпълнени условията

$$\Delta I_{\Sigma} \geq EI_{\Sigma}; \quad (16.23)$$

$$\Delta S_{\Sigma} \leq ES_{\Sigma}. \quad (16.24)$$

За осигуряването на тези условия се изхожда от уравненията

$$\omega_{\Sigma} \leq T_{\Sigma}; \quad (16.25)$$

$$\Delta M_{\Sigma} = EM_{\Sigma}. \quad (16.26)$$

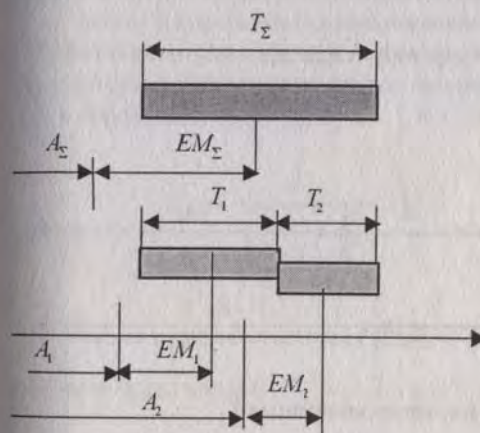
като се използват пет метода: пълна взаимозаменяемост, непълна взаимозаменяемост, групва взаимозаменяемост, регулиране и нагаждане.

Независимо от избрания метод, решаването на задачата преминава през следните етапи:

1. Формулиране на задачата и определяне на изходното (затварящото) звено.
2. Съставяне на геометричната схема на размерната верига.
3. Съставяне на изходното уравнение на размерната верига.
4. Определяне на номиналните стойности на съставните звена.
5. Избиране на метода за осигуряване на точността на затварящото звено.
6. Определяне на допуските на съставните звена.
7. Определяне на средните отклонения на съставните звена.
8. Проверка за изпълнение на условията (16.23) и (16.24).

Метод на пълната взаимозаменяемост. При използване на метода на пълната взаимозаменяемост се изхожда от предположението, че грешките се сумират по метода минимум-максимум. При това действителният размер на затварящото звено се получава винаги в границите на допусковото поле T_{Σ} , ако при сглобяване в размерната верига се включват съставни звена, чиито действителни размери са в границите на допусковите полета T_i (фиг.16.10).

Недостатъкът на този метод е в това, че допуските на съставните звена са малки. Това води до оскъпяване на технологич-



Фиг.16.10 Сумиране на допуските по метода на пълната взаимозаменяемост

ния процес за изработване на сглобяваните детайли.

Определянето на допуските на съставните звена се извършва чрез подбиране или чрез еднаква степен на точност.

Подбиране на допуските. Последователността на решаване на задачата е следната:

- избира се звеното компенсатор k ;
- назначават се допуските за $(n-1)$ съставни звена като се изхожда от средния допуск T_{cp} (формула 16.20);
- изчислява се допускът T_k на компенсатора по формулата

$$T_k = \frac{T_{\Sigma} - \sum_{i=1}^{n-1} |a_i| \cdot T_i}{a_k} \quad (16.27)$$

Ако $a_i = \pm 1$, то

$$T_k = T_\Sigma - \sum_1^{n-1} T_i; \quad (16.28)$$

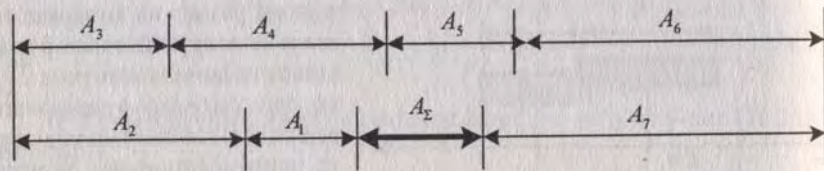
- назначават се средните отклонения EM_i за $(n-1)$ звена. За едно от звената средното отклонение се определя по формула (16.22);
- определят се гранични отклонения EI_i и ES_i .

Трябва да се отчита, че по определение $T > 0$. Ако по формула (16.27) или (16.28) се получи $T_k \leq 0$, трябва да се намалят стойностите на допуските T_i или само на част от тях и отново да се изчисли T_k .

Пример 3. За размерната верига (фиг. 16.11)

$$A_\Sigma = -A_1 - A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 - A_7$$

е зададено $A_\Sigma = 0 \pm 0.18 \text{ mm}$.



Фиг. 16.11. Размерна верига към пример 3

За съставните звена задаваме от конструктивни съображения:

$$A_1 = 108^{+0.1} \text{ mm}; \quad A_2 = A_7 = 6_{-0.03} \text{ mm}; \quad A_3 = A_6 = 10_{-0.05} \text{ mm};$$

$$A_4 = 2_{-0.02}^{+0.02} \text{ mm}; \quad A_5 = 100^{+0.1} \text{ mm}.$$

Решение: $\sum_1^7 A_i = 2 \text{ mm}$; $A_\Sigma = 0 \text{ mm}$. Ако изберем за компенсиращо

звеното A_1 , от у-ние (16.19) ще получим $A_1 = 110 \text{ mm}$.

$$\sum_1^7 T_i = 0.40 \text{ mm}; \quad T_\Sigma = 0.36 \text{ mm}. \text{ Ако изберем за компенсиращо звено}$$

то A_5 , от уравнение (16.28) ще получим $T_5 = 0.06 \text{ mm}$.

$$\sum_1^7 EM_i = -0.02 \text{ mm}; \quad EM_\Sigma = 0 \text{ mm}. \text{ Ако изберем за компенсиращо}$$

звеното A_1 , от уравнение (16.22) ще получим $EM_1 = -0.02 \text{ mm}$.

Еднаква степен на точност. Определя се коефициент на точност β (брой на допусковите единици за съответната степен на точност) по формулата

$$\beta = \frac{T_\Sigma}{\sum_1^n a_i \cdot i_i}. \quad (16.29)$$

По получената стойност на β по справочни данни се определя съответната степен на точност и за $(n-1)$ съставни звена се назначават стандартни допуски. За едно от звената допускът се определя по формула (16.28).

Метод на непълната взаимозаменяемост. При използване на метода на непълната взаимозаменяемост се изхожда от вероятностния характер на разсейването и сумирането на грешките на съставните звена. При това средният допуск T_{cp} се определя по формулата

$$T_{cp} = \frac{T_\Sigma}{\sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2 \cdot K_i^2}}. \quad (16.30)$$

Ако се приеме за всички съставни звена разпределение на грешките по закона на триъгълника ($K_i = 1.2$; $\alpha = 0$), за T_{cp} се получава

$$T_{cp} = \frac{T_\Sigma}{1.2 \cdot \sum_1^n a_i}. \quad (16.31)$$

От сравнението на формули (16.20) и (16.31) се вижда, че при вероятностното сумиране на грешките на съставните звена се създава възможност за назначаване на по-големи допуски, отколкото при сумиране по метода минимум-максимум. При това действителния размер на затварящото звено за по-голямата част от изделията ще бъде в границите на зададеното допусково поле, ако при сглобяване в размерната верига се включват съставни звена, действителните размери на които са в границите на допусковите си полета. За част от изделията действителният размер на затварящото звено ще се получава извън границата на допусковото поле.

Предимството на метода на непълната взаимозаменяемост пред метода на пълната взаимозаменяемост е именно в това – по-широки допуски за съставните звена при равни други условия. Недостатъкът е във вероятността за полу-

чаване на определен процент брак (поправим или непоправим).

За да се използва методът на непълната взаимозаменяемост трябва да са налице условия за появата на статистически зависимости. Счита се, че такива условия са налице, ако големината на партидата едновременно изработвани изделия е $N > 50$.

Разпределението на допуските се извършва чрез подбиране или чрез еднакви степени на точност.

Подбиране на допуските. Последователността на решаване на задачата е следната:

- избира се звеното компенсатор k ;
- назначават се допуските за $(n - 1)$ съставни звена като се изхожда от средния допуск T_{cp} (формула 16.30);
- изчислява се допускът T_k на компенсатора по формулата

$$T_k = \frac{\sqrt{T_{\Sigma}^2 - \sum_{i=1}^{n-1} a_i^2 \cdot K_i^2 \cdot T_i^2}}{a_k \cdot K_k} \quad (16.32)$$

Ако $a_i = \pm 1$, то

$$T_k = \frac{\sqrt{T_{\Sigma}^2 - \sum_{i=1}^{n-1} K_i^2 \cdot T_i^2}}{K_k}; \quad (16.33)$$

- назначават се средните отклонения EM_i за $(n - 1)$ звена. За едно от звената средното отклонение се определя по формулата (16.21) или (16.22);
- определят се гранични отклонения EI_i и ES_i .

Пример 4. Размерната верига от пример 3 да се реши по метода на непълната взаимозаменяемост при условие, че грешките на съставните звена се разсейват по закона на триъгълника ($K_i = 1.2$).

За съставните звена задаваме от конструктивни съображения:

$$A_2 = A_7 = 6_{-0.05} mm; \quad A_3 = A_6 = 10_{-0.08} mm; \quad A_4 = 2 \pm 0.03 mm;$$

$$A_1 = A_5 = 100^{+0.12} mm.$$

$$A_1 = A_5 = 100^{+0.12} mm = 0.368 mm.$$

Ако изберем звеното A_5 за компенсиращо при изравняване на допуските,

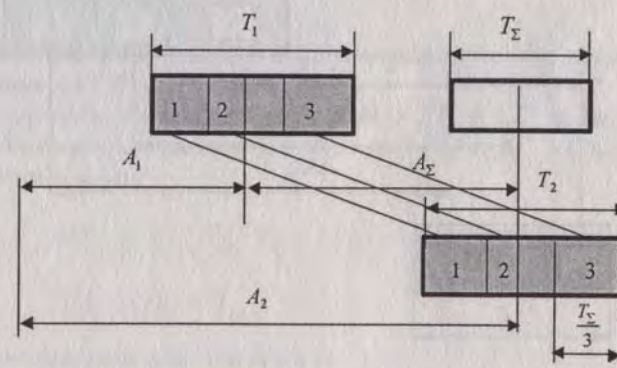
ще получим $T_k = T_5 = 0.094 mm$.

Ако изберем звеното A_1 за компенсиращо при изравняване на средните отклонения, ще получим

$$EM_1 = \frac{0 - (-0.06 + 0.025 - 0.04 - 0.06 - 0.04 + 0.025)}{1} = 0.15 mm.$$

За граничните отклонения на звеното A_4 ще получим $EI_4 = 0.12 mm$, $ES_4 = 0.18 mm$.

Метод на груповата взаимозаменяемост. При този метод зададената точност на затварящото звено се постига чрез включване в размерната верига на съставни звена, принадлежащи на една от групите, на които те предварително са разделени. За изработването на детайлите на съставните звена се назначават разширени, икономически изгодни допуски. След изработването детайлите се разделят на групи, сглобяването се извършва, както по метода на пълната взаимозаменяемост, но само в границите на една група (фиг. 16.12). При сумирането на грешките се използва методът минимум - максимум.



Фиг. 16.12. Сглобяване по метода на груповата взаимозаменяемост

За да се използва методът на груповата взаимозаменяемост е необходимо:

1. Размерната верига да има малък брой съставни звена. На практика този метод се използва за осигуряване на точността на размерни вериги с две съставни звена (от типа вал - отвор).
2. Сумата от допуските на увеличаващите звена да е равна на сумата от допуските на намаляващите звена. Ако $n = 2$, следва

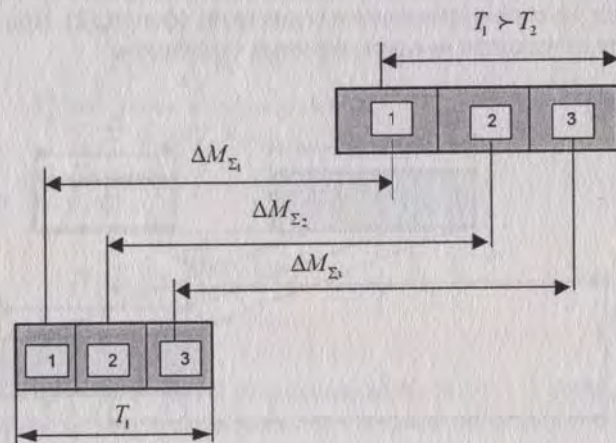
$$T_1 = T_2 = \frac{T_{\Sigma}}{2}. \quad (16.34)$$

3. Средните отклонения да удовлетворяват равенствата

$$\sum_1^n EM_i = EM_{\Sigma}; \quad (16.35)$$

$$\sum_1^n EM_{r_i} = EM_{\Sigma}. \quad (16.36)$$

Ако условията (16.34)...(16.36) не са изпълнени, полето на разсейване ω_{Σ} на затварящото звено за различните групи ще бъде по-малко или равно на допусковото поле на затварящото звено T_{Σ} , но координатата на средата на полето на разсейване ΔM_{Σ} за различните групи ще бъде различна (фиг. 16.13). При това част от изделията ще бъде брак.



Фиг. 16.13. Изменение на координатите на средата на полето на разсейване

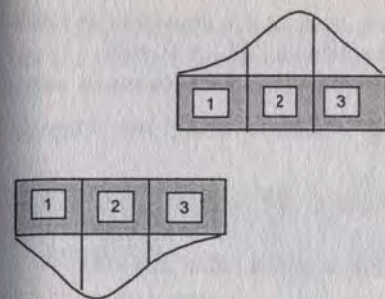
4. Законите на разпределение на съставните звена да са идентични. В противен случай ще се получи различен брой детайли в едноименните групи (фиг.16.14).

5. Броят на групите p да не бъде голям, за да не се затруднява организацията на производството и ремонта. Препоръчва се броят на групите да не е по-голям от 6.

При използване на метода на груповата взаимозаменяемост последователността на решаване на задачата е следната:

1. Назначават се икономически изгодни допуски на съставните звена. При това допуските на ъгловото взаимно разположение на повърхнините и на геометричната им форма не се променят.

2. Определя се броят p на групите по формулата



Фиг. 16.14. Брой на детайлите в едноименните групи при различни закони на разпределение на съставните звена

$$p = \frac{\sum_1^n T_i}{T_{\Sigma}}. \quad (16.37)$$

Получената стойност на се закръглява до цяло число, след което се уточняват допуските съгласно равенство (16.35). Желателно е допуските да са кратни на p .

3. Определят се груповите допуски T_{r_i} на съставните звена

$$T_{r_i} = \frac{T_i}{p}. \quad (16.38)$$

4. Назначават се средните отклонения на съставните звена при спазване на равенства (16.35) и (16.36).

5. Определят се граничните отклонения EI_i и ES_i на съставните звена.

6. Определят се граничните отклонения EI_{i_j} и ES_{i_j} на съставните звена за различните групи

$$EI_{i_j} = EI_i + T_{r_i} \cdot (j - 1), \quad j = 1 \dots p, i = 1 \dots n; \quad (16.39)$$

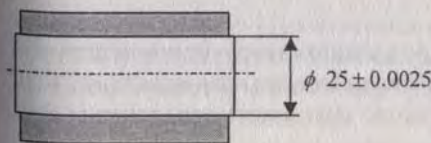
$$ES_{i_j} = EI_i + T_{r_i}. \quad (16.40)$$

където j е поредният номер на групата.

Предимството на този метод е в гарантиране на висока точност на затварящото звено при широки допуски на съставните звена.

Недостатъците на метода са в следното:

- необходимост от допълнителни разходи за измерване, сортиране и съхраняване на детайлите;
- усложняване на организацията на процеса на сглобяване;
- усложняване на производството и снабдяването със запасни части.



Фиг. 16.15. Съединение вал-втулка

Пример 5. При сглобяване на вал с втулка с номинални размери 25 mm да се осигури хлабина 0 ± 0.0025 mm (фиг.16.15).

Уравнението на размерната верига е $A_{\Sigma} = A_1 - A_2$, допускът на затварящото звено $T_{\Sigma} = 0.005 \text{ mm}$, средното отклонение $EM_{\Sigma} = 0 \text{ mm}$.

Назначаваме икономически изгодни допуски на съставните звена $T_1 = T_2 = 0.01 \text{ mm}$ и средни отклонения $EM_1 = EM_2 = -0.005 \text{ mm}$. Определяме броя на групите $p = \frac{0.02}{0.005} = 4$. При това T_1 и T_2 са кратни на p . Гра-

ничните отклонения за различните групи са приведени в таблицата 16.1.

Методът на груповата взаимозаменяемост широко се използва в двигателостроенето, уредостроенето и др. В частност, приведенят пример е за възела бутало - бутален болт на двигател на лек автомобил.

Метод на регулирането. При този метод за $(n-1)$ съставни звена се назначават икономически изгодни за дадените производствени условия допуски T_i , а точността на затварящото звено в процеса на сглобяване се постига чрез изменение на размера на предварително избрано звено-компенсатор A_k без да се отнема от него материал. Величината $(\sum_{i=1}^{n-1} T_i - T_{\Sigma})$ се нарича допуск за компенсиране T_{komp}

$$T_{komp} = \sum_{i=1}^{n-1} T_i - T_{\Sigma}. \quad (16.41)$$

Има две разновидности на метода:

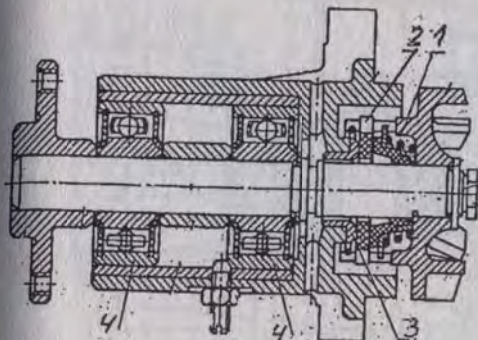
1. **Чрез промяна на разположението на компенсатора спрямо останалите звена на размерната верига (използване на подвижни компенсатори).** Подвижните компенсатори са два вида: постоянно действащи и периодично действащи.

Постоянно действащите подвижни компенсатори се реализират чрез еластични елементи. На фиг.16.16 е показан пример на такъв компенсатор. Пружината 1 осигурява непрекъснат контакт между подвижното уплътнение 2 и неподвижния фланец 3 на помпата за охлаждаща течност на лек автомобил. Така се предотвратява попадане на охлаждаща течност в търкалящите лагери 7.

Таблица 16.1
Резултати от пример 5

Номер на групата	Вал	Отвор
1	$25_{-0.0025}$	$25_{-0.0025}$
2	$25_{-0.0050}$	$25_{-0.0050}$
3	$25_{-0.0075}$	$25_{-0.0075}$
4	$25_{-0.0100}$	$25_{-0.0100}$

Периодично действащите подвижни компенсатори се реализират най-често с резбови съединения – гайки, винтове и др. На фиг.16.17 е показана предавателна кутия на лек автомобил. Стегнатостта в лагерите 9 на главната предавка се регулира с гайките 4. С тези гайки се регулира и радиалната хлабина между зъбите на водещото 53 и водимото 59 колела.



Фиг.16.16. Подвижен компенсатор

В показаната на фиг.16.17 предавателна кутия главната предавка е хипоидна (водещо зъбно колело 53, водимо зъбно колело 59). За да работи правилно тази предавка при сглобяването и трябва да се осигури монтажният размер A (фиг.16.18a). Това разстояние се осигурява чрез регулиращата шайба 41 (вж.фиг.16.17). Тази шайба в случая е неподвижен компенсатор.

Предимството на метода за регулиране е в:

- осигуряването на висока точност на затварящото звено при широки производствени допуски на съставните звена;
- създаването на възможност за компенсиране на износването в процеса на експлоатация, т.е. създаване на възможност за многократно възстановяване на точността на затварящото звено;
- компенсиране на очаквани топлинни и други изменения. В този случай

допускът за компенсиране $T'_{комп}$ се определя по формулата

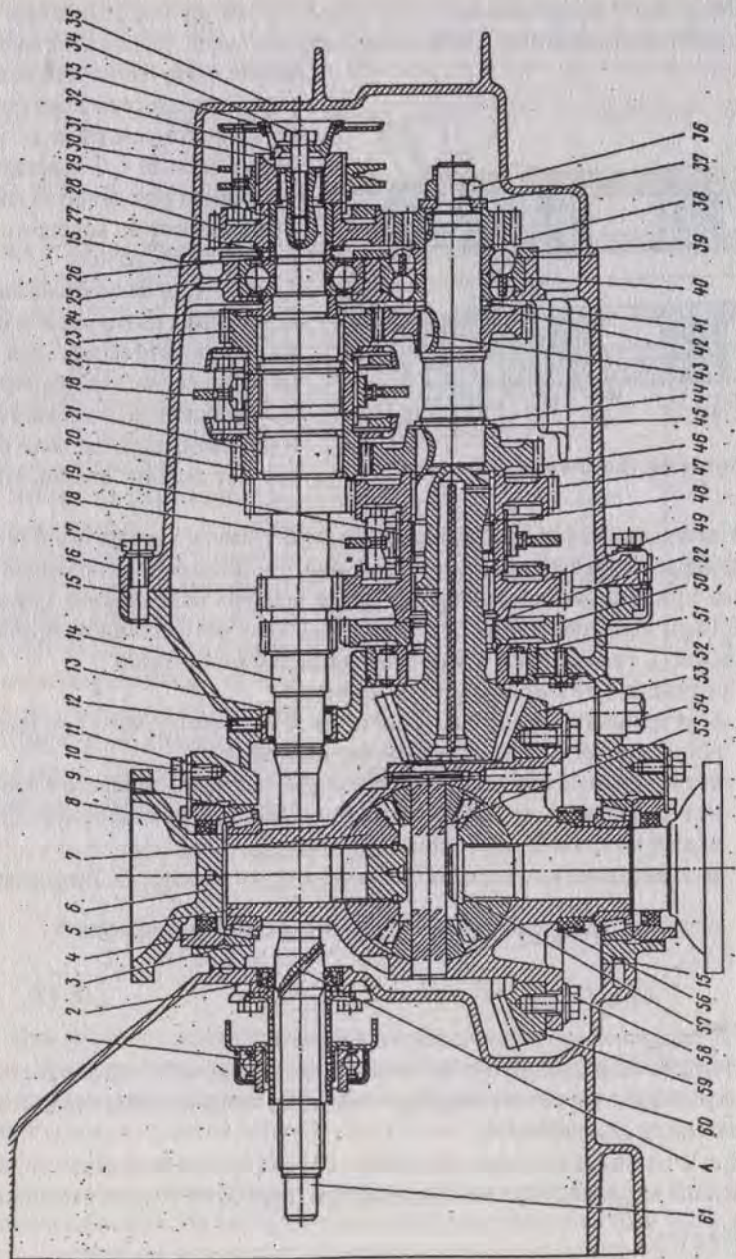
$$T'_{комп} = T_{комп} + T_u, \quad (16.42)$$

където T_u е големината на очакваните изменения.

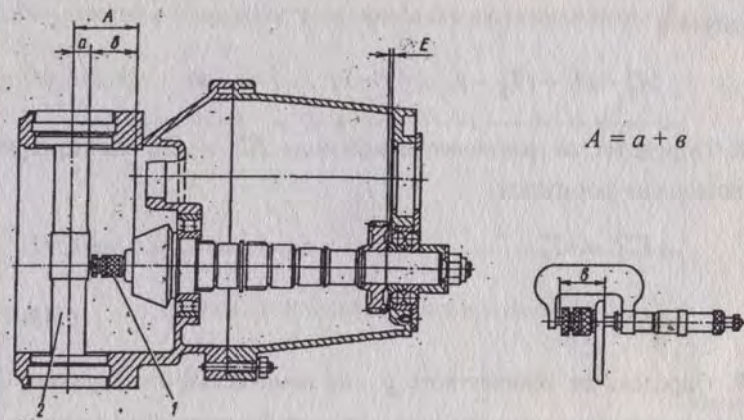
Методът на регулирането се използва за осигуряване на точността на линейни размерни вериги с голям брой съставни звена и сравнително голяма серийност на производството.

При използване на подвижни компенсатори е необходимо конструктивно да се създаде възможност за компенсиране на грешка, по-голяма от допуската за компенсиране $T_{комп}$.

При използване на неподвижни компенсатори последователността на решаване на задачата е следната:



Фиг. 16.17. Предавателна кутия



Фиг. 16.18. Определяне на монтажа размер A

1. Избира се звено-компенсатор или се въвежда в размерната верига (съответно, в конструкцията на възела) такова звено.
2. Избира се метод за обработване на компенсатора, осигуряващ

$$T_k \ll T_\Sigma. \quad (16.43)$$

3. Назначават се икономически изгодни за дадените производствени условия допуски T_i за $(n-1)$ съставни звена.
4. Назначават се средните отклонения EM_i за тези звена.
5. Определя се броят на степените на компенсатора m по формулата

$$m = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} T_i}{T_\Sigma - T_k}. \quad (16.44)$$

Получената стойност на m се закръглява до цяло число.

6. Определя се най-малкият размер на компенсатора $A_k^I = A_k^{min}$ по формулата

$$A_k^I = A_k^{min} = A_k + EM_k + \frac{\sum_{i=1}^{n-1} T_i - T_\Sigma}{2}. \quad (16.45)$$

където A_k и EM_k се определят по формули (16.19) и (16.22), съответно.

7. Определят се размерите на останалите степени на компенсатора

по формулата

$$A_k^j = A_k^j + (T_\Sigma - T_k) \cdot (j-1), \quad j=1...m. \quad (16.46)$$

8. Определят се граничните отклонения EI_k^j и ES_k^j на размерите на компенсатора по формулите:

$$EI_k^j = -T_k; \quad (16.47)$$

$$ES_k^j = 0. \quad (16.48)$$

9. Определя се количеството q_j на компенсаторите с размер A_k^j за всяка степен, пропорционално на попадане на стойностите на затварящите звена в съответния интервал $A_k^j...A_k^{j+1}$ (фиг.16.19). При нормален закон на разпределение на затварящото звено q_j се определя по формулата

$$q_j = [\phi^*(x_1) - \phi^*(x_2)] \cdot N, \quad (16.49)$$

където n е броят на изделията в партидата;

$$x_1 = \frac{A_k^j}{\sigma}; \quad x_2 = \frac{A_k^{j+1}}{\sigma}; \quad \sigma = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} T_i}{6} \quad \text{при } \omega_\Sigma = \pm 3 \cdot \sigma.$$

Пример 6: За размерната верига, показана на фиг. 16.20, са зададени:

$$A_\Sigma = 0_{+0.05}^{+0.10} \text{ mm}; \quad A_1 = 5 \text{ mm};$$

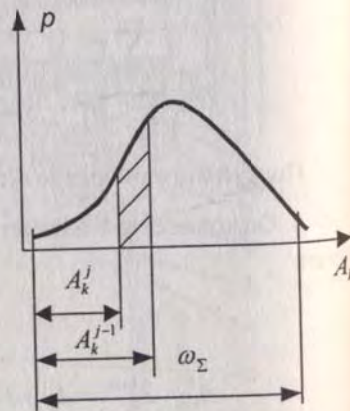
$$A_2 = 20 \text{ mm}; \quad A_3 = 30 \text{ mm};$$

$$A_4 = A_5 = 4 \text{ mm}; \quad A_6 = 63 \text{ mm}.$$

Избираме звеното A_1 за компенсатор с допуск $T_1 = T_k = 0.01 \text{ mm}$. За останалите съставни звена назначаваме икономически изгодни допуски както следва:

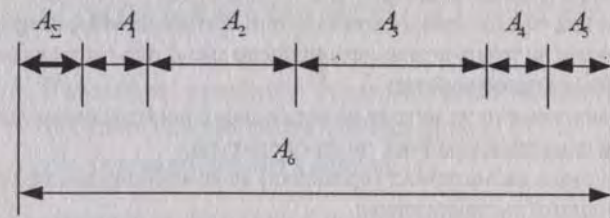
$$A_2 = 20_{+0.05}^{+0.06} \text{ mm}; \quad A_3 = 30_{-0.06}^{+0.06} \text{ mm};$$

$$A_4 = A_5 = 4 \pm 0.03 \text{ mm}; \quad A_6 = 63_{-0.12} \text{ mm}.$$



Фиг.16.19. Определяне на броя на компенсаторите за всяка степен

Резултатите от решаването на тази задача са приведени в таблица 16.2.



Фиг.16.20. Размерна верига към пример 6

Таблица 16.2
Резултати от пример 6

N	Номинална стойност, mm	Долно гран. отклонение, mm	Горно гран. отклонение, mm
1	4.66	0.0	0.01
2	4.70	0.0	0.01
3	4.74	0.0	0.01
4	4.78	0.0	0.01
5	4.82	0.0	0.01
6	4.86	0.0	0.01
7	4.90	0.0	0.01
8	4.94	0.0	0.01
9	4.97	0.0	0.01

Метод на нагаждането. При използването на този метод, както и при метода на регулирането, за $(n-1)$ съставни звена се назначават икономически изгодни за дадените производствени условия допуски T_j . Точността на затварящото звено в процеса на сглобяване се постига чрез изменение на размера на предварително избрано звено-компенсатор A_k чрез отнемане на материал от него. За дообработване в процеса на сглобяване (т.е. за отнемане на материал от звеното-компенсатор) се избира метод на обработване, осигуряващ условията (16.42).

Предимството на метода е в осигуряването на висока точност на затварящото звено при широки допуски на съставните звена. Недостатъкът на метода е в необходимостта от дообработване на компенсатора в процеса на сглобяване, водеща до:

- използване на висококвалифицирани работници на съответната операция сглобяване;

- невъзможност за нормиране на труда и използване на поточна организация на производството.

Този метод се използва в единичното и дребносерийното производство, а за осигуряване на точността на затварящото звено на ъглови размерни вериги - и в серийното производство.

При използването на метода на нагаждане е необходимо да се определят размерите на компенсатора така, че да се осигури:

- наличието на материал (прибавка) за компенсиране на грешките на останалите съставни звена;
- минимално възможно количество материал за сваляне при дообработване.

Последователността на решаване на задачата е следната:

1. Назначават се икономически изгодни допуски на съставните звена.
2. Избира се звено-компенсатор. За компенсатор се избира звено, позволяващо най-лесно дообработване. За компенсатор не бива да се използва звено, участващо в повече от една размерни вериги, в противен случай възникват така наречените "блуждаещи грешки", т.е. нагаждането на една размерна верига води до нарушаване на точността на друга.
3. Определят се началните размери на компенсатора по формулите:

$$EM_k = \frac{EM_\Sigma - \sum_{i=1}^{n-1} a_i \cdot EM_i}{a_k} - b \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n-1} T_i - T_\Sigma}{2}, \quad (16.50)$$

$$EI_k = EM_k - \frac{T_k}{2}, \quad ES_k = EM_k + \frac{T_k}{2},$$

където $b = 1$, ако при дообработване размерът на компенсатора се увеличава (обхващан размер); $b = -1$, ако при дообработване размерът на компенсатора се намалява (обхващан размер).

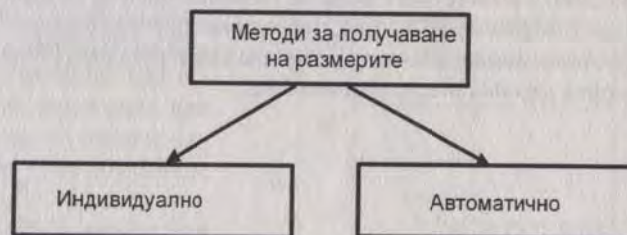
17.1. Размерни връзки в технологичната система. Еквивалентна размерна верига на технологичната система

При механичното обработване металорежещата машина, приспособлението за установяване на обработвания детайл, режещият инструмент и обработваният детайл образуват единна система, в която възникват размерни връзки. Прието е тази система да се нарича "машина - приспособление - инструмент - детайл (МПИД)" или "технологична система".

Методите за обработване и технологичните системи са многообразни, в резултат на това възникващите размерни връзки се описват с различни по структура и брой на звената размерни вериги. При изучаването на механизма на образуване на грешките на размерите в процеса на обработване е целесъобразно използването на една размерна верига, но такава, която да отчита общите закономерности на този процес.

Разгледани във времето размерните връзки в процеса на обработване възникват на три етапа:

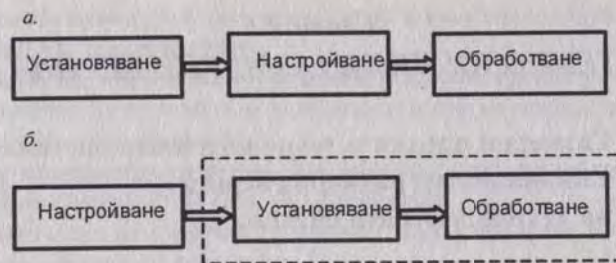
- при установяване на обработвания детайл в приспособлението;
- при настройване на технологичната система на размер;
- при осъществяване на процеса на рязане.



Фиг.17.1. Методи за получаване на размерите

В зависимост от последователността на изпълнение на етапите "установяване" и "настройване" и от метода на формообразуване различаваме два метода за получаване на размерите – индивидуално и автоматично (фиг.17.1).

В първия случай настройването на размер се извършва за всеки обработван детайл, т.е. размерите се получават *индивидуално* (фиг.17.2а).



Фиг. 17.2. Етапи на технологичния процес

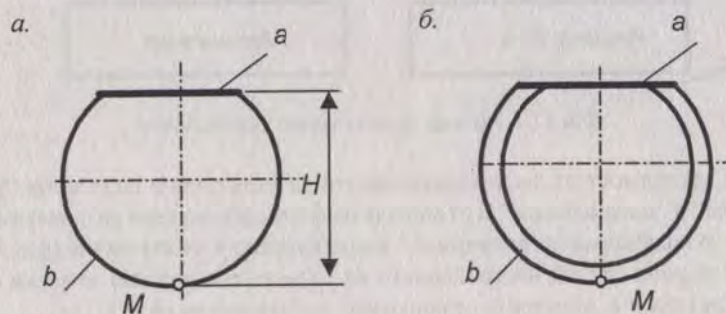
Във втория случай настройването на размер се извършва един път за обработването на партида детайли, след което размерите се получават *автоматично* (фиг. 17.2б).

Ще проследим възникването на размерните връзки в технологичната система, възникващи при обработване върху машина, настроена на размер (т.е. при автоматично получаване на размерите).

На операцията фрезозане трябва да се обработи повърхнината *a* на детайла, като се осигури получаването на размера *H* (фиг. 17.3а). Размерът *H* е зададен относно точката *M* на детайла, следователно точка *M* може да се разглежда като особена, характерна технологична точка. В частен случай тази точка може да принадлежи на готовия детайл. Например, ако след фрезозането на повърхнината *a* повърхнината *b* се шлифова (фиг. 17.3б), точката *M* принадлежи на заготовката. Ако повърхнината *b* не се обработва допълнително, точката *M* принадлежи на готовия вече детайл.

Размерът, който се получава в резултат на обработването, се нарича *технологичен размер* (операционен размер, работен настроен размер).

Повърхнината (линията, точката), относно която е зададен технологичния размер, се нарича *изходна технологична база*.



Фиг. 17.3. Изходна база

В статично състояние изпълнителната повърхнина на инструмента, в случая повърхнината *k*, се намира на определено разстояние относно спомагателните бази на приспособлението за установяване на обработвания детайл. Размерът, определящ това разстояние, се нарича размер на статично настройване и се бележи с индекс "с", например, H_c за размера *H*.

Размерът H_c се определя от размерната верига на технологичната система със затварящо звено A_Σ (фиг. 17.4):

$$H_c = A_\Sigma; \quad (17.1)$$

$$A_\Sigma = -A_1 - A_2 - A_3 - A_4 - A_5 - A_6 + A_7$$

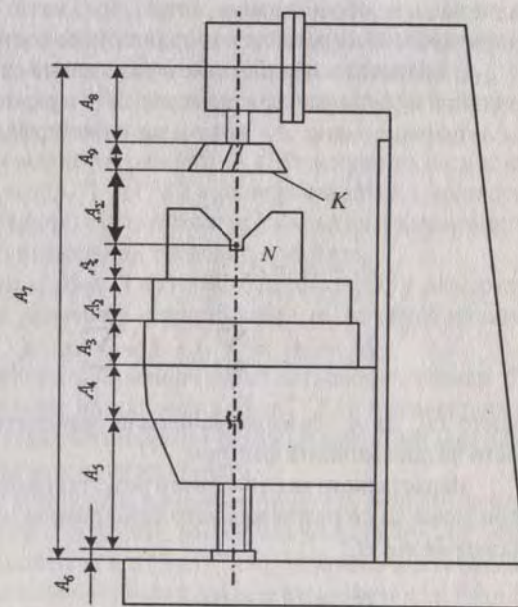
или в общия случай по формулата

$$H_c = A_\Sigma = \sum_1^n a_i \cdot A_i. \quad (17.2)$$

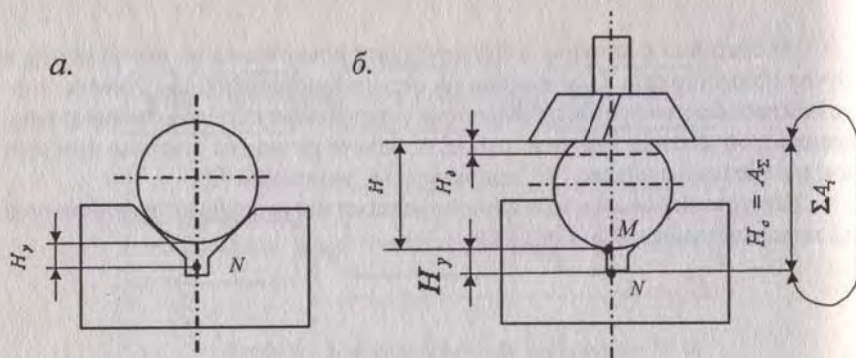
Точката *N*, принадлежаща в случая на приспособлението за установяване на заготовката, е характерна технологична точка. Относно тази точка се получава размерът H_c при предварителното настройване на технологичната система.

Повърхнината (линията, точката), относно която се отчита размерът на статично настройване при обработване, измерване или сглобяване, се нарича *настроечна технологична база*.

За да се осъществи процесът на обработване, заготовката се установява в приспособлението по цилиндричната си повърхнина *b* (фиг. 17.5а). При това възниква размерът H_y , свързващ точките *M* и *N*.



Фиг. 17.4. Размерна верига на технологичната система



Фиг.17.5. Еквивалентна размерна верига на технологичната система

Размерът H_y , свързващ изходната и настроената технологични бази, се нарича *размер на установяване*, а повърхнината b - *установъчна технологична база*.

Установъчна технологична база е повърхнината (линията, точката), принадлежаща на обработвания детайл, чрез която се налагат ограниченията при ориентирането на детайла в координатната система на машината.

В процеса на обработване в резултат на действието на различни силови, топлинни и други фактори размерът H_y и размерите A_i на размерната верига със затварящо звено A_{Σ} получават нови стойности H'_y и A'_i

$$H'_y = H_y + H_{y_g}; \quad (17.3)$$

$$A'_i = A_i + A_{i_g}; \quad (17.4)$$

$$H'_c = A'_{\Sigma} = \sum_I a_i \cdot A_i + \sum a_i \cdot A_{i_g} = H_c + H_{c_g}, \quad (17.5)$$

където H_{y_g} и A_{i_g} са нарастванията на размерите H_y и A_i в резултат на действието на динамичните фактори.

Нарастването на размерите в резултат на действието на динамичните фактори може да се разглежда като един размер, наричан *размер на динамично настройване* H_g :

$$H_g = H_{c_g} + H_{y_g}. \quad (17.6)$$

Размерът H , получаван в резултат на обработването, е затварящо звено на размерната верига с три съставни звена - H_c , H_y , H_g (фиг.17.5б)

$$H = H_c - H_y + H_g.$$

Тази верига се нарича *еквивалентна размерна верига на технологичната система*. Уравнението на еквивалентната размерна верига в общия случай е следното:

$$H = a_c H_c + a_y H_y + a_g H_g, \quad (17.7)$$

където a_c , a_y , a_g са предавателни коефициенти.

Еквивалентната размерна верига на технологичната система отчита всички размерни връзки, възникващи в процеса на обработване, и се състои от три съставни звена. Всяко от тези звена възниква на различни етапи на изпълнение на технологичния процес.

От уравнение (17.7) следват уравненията, описващи размерните връзки между грешките $\Delta_c, \Delta_y, \Delta_g, \Delta_H$ и полетата на разсейване $\omega_c, \omega_y, \omega_g, \omega_H$ на размерите H_c, H_y, H_g, H :

$$\Delta_H = a_c \cdot \Delta_c + a_y \cdot \Delta_y + a_g \cdot \Delta_g; \quad (17.8)$$

$$\omega_H = |a_c| \cdot \omega_c + |a_y| \cdot \omega_y + |a_g| \cdot \omega_g. \quad (17.9)$$

В действителност за точността на размера, получаван при обработването, съдим по сравняването му със зададения. Следователно, към грешката Δ_H се добавя и грешката от измерване Δ_m . Тази грешка се отчита в случаите, когато тя е от един порядък с допуската на размера.

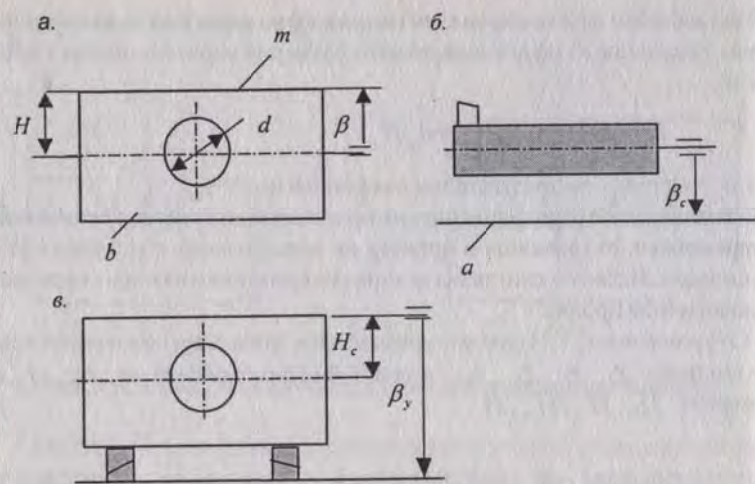
При индивидуално получаване на размерите възникващите размерни връзки също се описват с формули (17.7)...(17.9), а използваните характерни технологични точки (линии, повърхнини) съответстват по смисъл на дефинираните по-горе изходна, настроенка и установъчна технологични бази.

При разстъргване на отвора d (фиг.17.6а) трябва да се получат и размерите H и β . Изходна база за тези размери е повърхнината m на обработвания детайл.

В статично състояние вретеното на машината е настроено на размер β_c относно повърхнината a на масата на машината (фиг.17.6б). Следователно, повърхнината a е настроенка технологична база за размера β . При това размерът β_c е получен при изработването на машината.

Обработваният детайл се установява по повърхнината b , като по метода на регулиране (чрез измерване и с помощта на регулируеми опори) се осигурява успоредност на повърхнините m и a (фиг.17.6в). Установъчна технологична база е повърхнината b , тъй като чрез нея се налагат ограниченията. Изходната технологична база за размера β - повърхнината m се използва за повишаване на точността на установяване. Тъй като изходната и установъчната технологични бази не съвпадат, възниква размерът на установяване β_y . В резултат на обработването се получава технологичният размер β

$$\beta = \beta_c + \beta_y + \beta_g.$$



Фиг. 17.6. Размерни връзки при установяване чрез регулиране

където β_g е размерът на динамично настройване.

Размерът H се получава индивидуално, т.е. настройването на размер се извършва за всяка заготовка. При това размерът H_c се отчита от повърхнината m . Следователно, тази повърхнина е настроена технологична база за размера H . Изходната и настроената технологични бази за размера H съвпадат, номиналната стойност на размера H_g е равна на нула.

От разгледаните типични случаи се вижда, че точността при установяване се осигурява по два метода: пълна взаимозаменяемост и регулиране (вж. гл. 15). Във втория случай точността на установяване се постига чрез регулиране на спомагателните бази на приспособлението, като измерването се извършва относно изходните технологични бази.

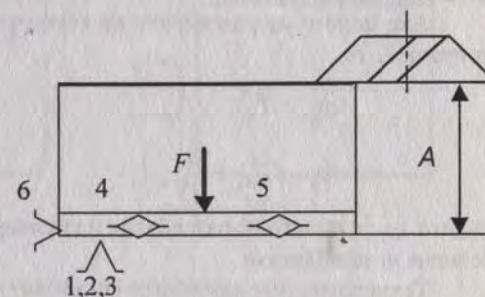
17.2. Технологични размерни вериги

Формирането на показателите на качество при изработване на изделия и техните детайли се осъществява при последователното изпълнение на технологичните операции и преходи. Размерният анализ на технологичните процеси позволява на етапа проектиране да се разкрият размерните връзки, възникващи при последователното изпълнение на технологичните процеси и операции, и на тази основа да се прогнозира осигуряването на най-важните показатели на качество на обработваните детайли - показателите на точност. Размерният анализ на технологичните процеси включва съвкупността от средствата за разкриване и решаване на технологичните размерни вериги.

При разработване на технологичните процеси за механично обработване

на детайлите за всяка установка се разработва технологична схема (фиг. 17.7). На тази схема с условни знаци се показват:

- базирането и закрепването на обработвания детайл;
- повърхнините, обработвани на дадената установка;
- инструментите в крайно или начално положение;
- размерите, които трябва да се получат в резултат на обработването (т.е. размерите, свързващи обработваните повърхнини и изходните технологични бази).



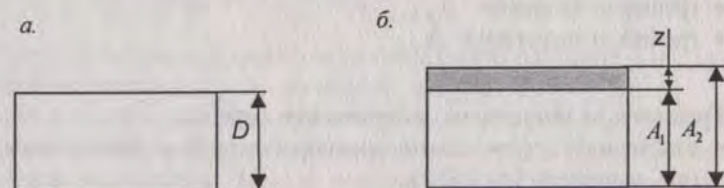
Фиг. 17.7. Технологична схема

Размерите, показани на технологичните схеми и получавани в процеса на обработване, се наричат *технологични* (или *операционни*) за разлика от конструкторските, задавани от конструктора при проектирането на детайла. Технологичните размери с граничните им отклонения се назначават от технолога. В точка 17.1 беше показано, че те се получават в процеса на обработване като затварящи звена на размерните вериги на технологичната система.

Технологичните размери не винаги съвпадат с конструкторските, това е обусловено от различието в базирането и размеробразуването на различните операции. Точността на технологичните размери се определя от възможностите на конкретната технологична система, точността на размерите на детайла, зададени от конструктора - от точността на технологичните размери. Размерните връзки между размерите D на детайла, зададени от конструктора, технологичните размери A и прибавките за обработване z , се описват с *технологични размерни вериги* (фиг. 17.8):

$$D = A_1; \quad (17.10)$$

$$z = A_2 - A_1, \quad (17.11)$$



Фиг. 17.8. Технологични размерни вериги

където A_2 е технологичният размер, получен на предишния преход; A_1 - технологичният размер, получен на изпълнявания преход; z - прибавката за изпълнявания преход.

Ако полето на разсейване на технологичните размери е ограничено с допуски T , то

$$\omega_D = T_{A_1}; \quad (17.12)$$

$$\omega_z = T_{A_1} + T_{A_2}, \quad (17.13)$$

където ω_D е полето на разсейване на размера на детайла; ω_z - полето на разсейване на прибавката.

Технологичните размери се получават в резултат на изпълнение на технологичния процес, размерите на детайла и прибавките – като функция на технологичните размери. Ето защо в технологичните размерни вериги размерите на детайла и прибавките са затварящи звена, технологичните размери, включително размерите на заготовката - съставни звена.

От фиг. 17.8 и уравнение (17.12) се вижда, че технологичните размерни вериги, за разлика от конструкторските, могат да се състоят само от две звена - затварящо и едно съставно.

Отделните повърхнини на детайлите се обработват нееднократно в хода на изпълнението на технологичния процес за няколко прехода или операции. При това възникват сложни размерни връзки, разкриването на които е възможно само чрез проследяване на целия технологичен процес [12], [15], [21] и др.

Глава 18

ГРЕШКИ ОТ УСТАНОВЯВАНЕ

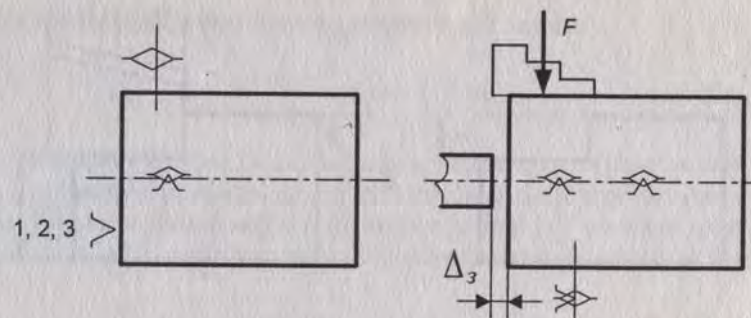
Грешката Δ_y на размера на установяване A_y може да се разглежда като сума от две грешки:

- грешка от базиране Δ_{σ} ;
- грешка от закрепване Δ_z ;

$$\Delta_y = \Delta_{\sigma} + \Delta_z. \quad (18.1)$$

Грешките от закрепване възникват в резултат на:

- еластичните деформации на приспособлението и обработвания детайл (вж., например, фиг. 15.13);
- неправилно избрана големина, приложна точка и направление на силата на закрепване, в резултат на което възниква неорганизирана смяна на базите (фиг. 18.1), (вж. също така фиг. 15.17).



Фиг. 18.1. Грешка от закрепване

За избягване или намаляване на грешките от закрепване е необходимо строго да се спазват правилата за избиране на големината, приложната точка и направлението на силата на закрепване, приведени в гл. 15 (т. 15.2). Освен това приспособленията за установяване на обработваните детайли трябва да са достатъчно стабилни.

Грешки от базиране. При проектирането и изпълнението на технологичните процеси не винаги е целесъобразно да се съвместяват технологичните настроечни бази с изходните бази. На чертежа на детайла, показан на фиг. 18.2а, конструкторът е задал размерът H . При фрезоването обаче по схемата на фиг. 18.2б се получава размерът A_1 . Изходна база за размера H е повърхнината 1, а настроечната технологична база за получаване на размера A_1 е повърхнината 2. В резултат на изпълнението на операцията фрезоване размерът H се получава като затварящо звено на технологична операционна размерната верига A :

$$H = A_z = A_2 - A_1. \quad (18.2)$$

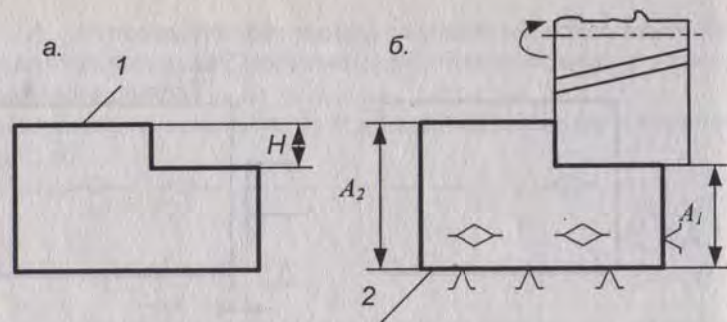
В тази размерна верига като съставни звена участвуват технологичните размери A_2 и A_1 , получени на предшестващата и изпълняваната операции, съответно.

Грешката на размера H се определя от уравнението:

$$\Delta_H = \Delta_{A_z} = \Delta_{A_2} - \Delta_{A_1}. \quad (18.3)$$

Както се вижда, в резултат на несъвпадането на базите 1 и 2 възниква допълнителна грешка Δ_{A_2} за размера H , в случая $\Delta_{\sigma_H} = \Delta_{A_2}$.

Несъвпадането на изходната и настроечната технологични бази се нарича организирана смяна на базите, а породената от това грешка - грешка от базиране. Тази грешка е методична, тъй като несъвпадането на базите е допуснато съзнателно при проектиране на технологичния процес. В резултат на организираната смяна на базите грешките на размерите, взаимното разположение и формата на повърхнините се пренасят от една операция на друга.



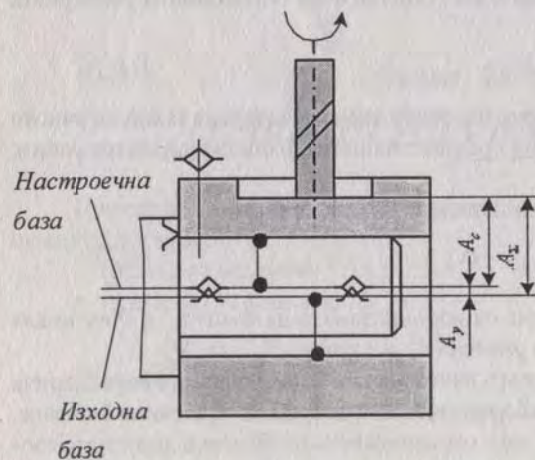
Фиг. 18.2. Грешка от базиране по равнинна повърхнина

По големина грешката от базиране е равна на проекцията на грешката на размера, свързващ изходната и настроената технологични бази, върху направлението на разглеждания размер.

Пренасянето на грешките на размерите при базиране по равнинна повърхнина беше разгледано по-горе.

При базиране по цилиндрична повърхнина като проектна база се използва оста на симетрия на тази повърхнина. Ако при базирането цилиндричните повърхнини на приспособлението и обработвания детайл се сдружават без хлабина, грешка от базиране за получаваните радиални размери не възниква.

Ако при базирането цилиндричните повърхнини на приспособлението и обработвания детайл се сдружават с хлабина (фиг. 18.3), възниква грешка от базиране, равна на несъвпадането на двете оси.



Фиг. 18.3. Грешка от базиране по цилиндрична повърхнина

$$\Delta_b = \Delta_{A_2} \quad (18.4)$$

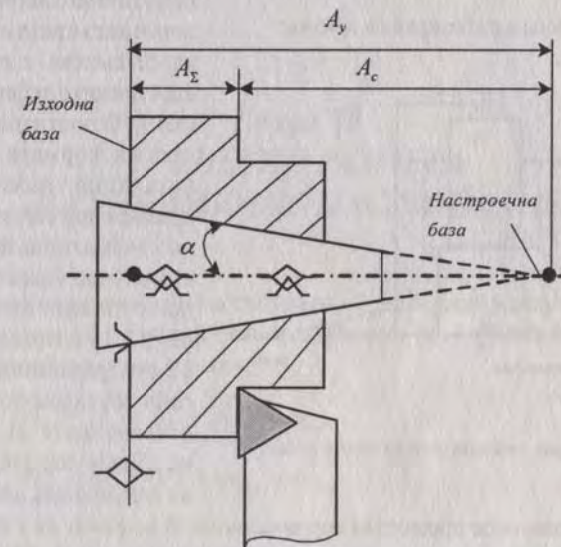
При базиране по конусна повърхнина в радиална посока грешки от базиране не възникват, но в надлъжно направление възникват грешки от базиране за всички получавани размери, в частност и за размера A_Σ . Настроенната технологична база в случая е точката O - върхът на конуса на приспособлението (фиг. 18.4). Грешката от базиране за размера A_2 зависи от размера α (ъгъла на конуса на

приспособлението) и размера d на обработвания детайл:

$$\Delta_b = \Delta_{A_2} = \frac{\Delta_d}{2 \operatorname{tg} \alpha} \quad (\text{при } \alpha = \text{const}) \quad (18.5)$$

Базиране в призма. При обработване на ротационни детайли върху фрезови и пробивни машини широко се използва базирането в призма (фиг. 18.5). В случая грешката от базиране за получавания размер A_Σ зависи от грешката на диаметъра d на базовата повърхнина на заготовката и от ъгъла α на призмата:

$$\Delta_b = \Delta_{A_2} = \frac{\Delta_d}{2 \cdot \sin \alpha} \quad (\text{при } \alpha = \text{const}) \quad (18.6)$$



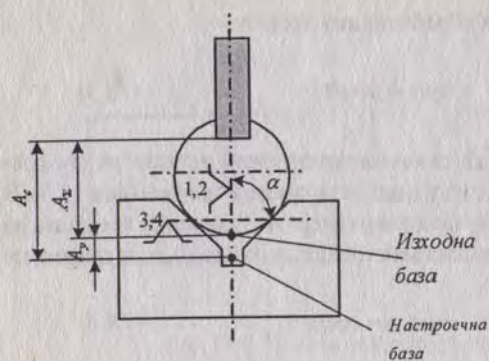
Фиг. 18.4. Грешка от базиране по конусна повърхнина

Ако вместо размера A_Σ е зададен размерът $B_\Sigma = A_1 - B_1$, ще получим:

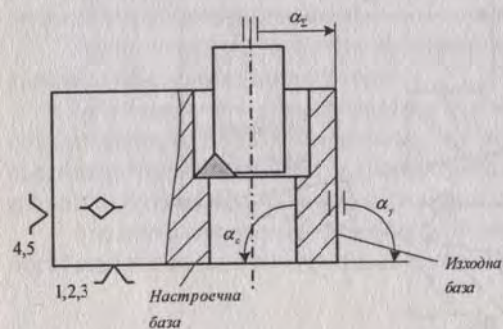
$$\Delta_b = \Delta_{B_1} = \frac{\Delta_d}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right) \quad (18.7)$$

Грешките на взаимното разположение на повърхнините се пренасят от една операция на друга по подобни зависимости. Ако конструкторът е задал изискване за успоредност α_Σ на оста на отвора $O-O$ и повърхнината b (фиг. 18.6), а в резултат на обработването получаваме размер α_1 , то:

$$\alpha_\Sigma = \alpha_1 - \alpha_2; \quad \Delta_{\alpha_\Sigma} = \Delta_{\alpha_1} - \Delta_{\alpha_2}; \quad \Delta_b = \Delta_{\alpha_2} \quad (18.8)$$



Фиг. 18.5. Грешка от базиране в призма

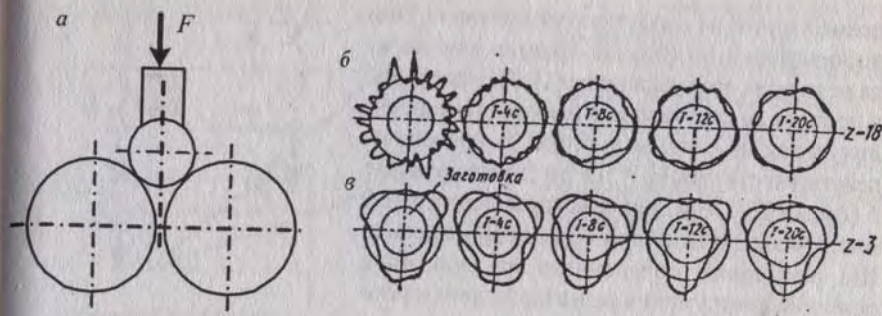


Фиг. 18.6. Грешка от базиране за ъглов размер

процеса на обработване се премества вертикално. В резултат на това грешка на формата на обработваната повърхнина се променя. Например, при обработване с три брусчета в продължение на 20 s на заготовки, получени чрез безцентрово шлифоване и имащи $z = 18$ върха (фиг. 18.7б), формата се подобрява. При обработване при същите условия на заготовки с $z = 3$ (фиг. 18.7в) грешката на формата се увеличава.

Пренасянето на грешките на размерите и взаимното разположение на повърхнините в резултат на организираната смяна на базите е добре изучено и се отчита чрез размерния анализ на технологичните процеси. Пренасянето на грешките на формата на базовите повърхнини на обработвания детайл засега се разглежда при необходимост за всеки конкретен случай, като най-удобен апарат за тази цел е хармоничният анализ.

Пренасяне на грешката на формата на базовите повърхнини. В случаите, когато обработваният детайл извършва относително движение спрямо спомагателните бази на приспособлението, е възможно пренасяне на грешката на формата на базовите повърхнини на заготовката от една операция на друга. При геометрично затваряне на кинематичната верига на технологичната система тази грешка се смесва с грешките от еластичните деформации (вж. гл. 19). В почти чист вид грешката на формата на базовите повърхнини на заготовката се пренася при силово затваряне на кинематичната верига. Такъв случай имаме, например, при суперфиниширането. На фиг. 18.7а е показана схемата на суперфиниширане на детайл "бутален болт". Поради отклоненията Δ на формата на обработваната цилиндрична повърхнина, детайлът в процеса на обработване



Фиг. 18.7. Пренасяне на грешката на формата на базовата повърхнина

Глава 19 ГРЕШКИ В РАЗМЕРА НА ДИНАМИЧНО НАСТРОЙВАНЕ

Размерът на динамично настройване A_0 възниква в резултат на еластичните деформации A_e , топлинните деформации A_T , трептенията A_{mp} и износването на режещия инструмент $A_{из}$:

$$A_0 = A_e + A_T + A_{mp} + A_{из}, \quad (19.1)$$

$$\omega_0 = \omega_e + \omega_T + \omega_{mp} + \omega_{из}. \quad (19.2)$$

19.1. Стабилност на технологичната система

Способността на телата да се съпротивляват на премествания, предизвикани от външна сила, по посока на действието на тази сила се нарича *стабилност*.

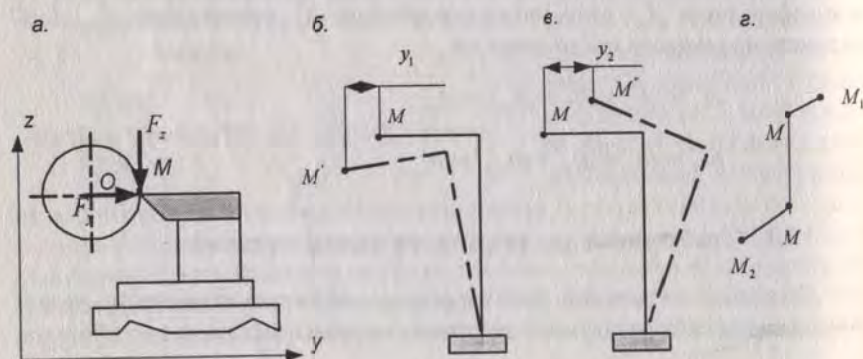
Стабилността се бележи с j , обратната величина се нарича *податливост* и се бележи с C (фиг. 19.1).

$$j = \frac{F_2 - F_1}{l_2 - l_1} = \frac{\Delta F}{\Delta l}. \quad (19.3)$$

Технологичните процеси протичат в резултат на прилагането и възникването на сили. При наличието на определена податливост на технологичната система тези сили водят до възникване на еластични деформации (или еластични

премествания) на елементите на системата. Тези деформации имат сложен характер и не могат да се изразят чрез уравнение (19.3). Например, в процеса на струговане в равнината, перпендикулярна на оста на въртене на вретеното, действуват съставните F_y и F_z на силата на рязане F (фиг.19.2а). Тези сили действуват както върху инструмента, така и върху обработвания детайл. Ще разгледаме поведението на супорта с режещия инструмент в резултат на действието на тези сили по метода на суперпозицията.

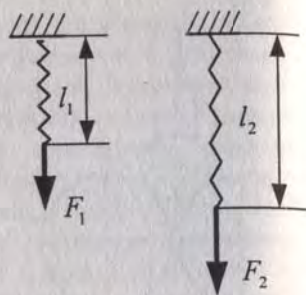
Под действието на силата F_y супортът се премества назад и завърта в равнината $(y-z)$ (фиг.19.2б), а върхът на инструмента т.М се премества на разстояние y_1 в положение M' . Под действието на силата F_z супортът се премества напред и завърта около равнината $(y-z)$ (фиг.19.2б), а върхът на инструмента т.М се премества на разстояние y_2 в положение M'' . В резултат на действието на двете сили върхът на инструмента т.М ще заеме положение M_1 или M_2 (фиг.19.2г) в зависимост от това, кое от двете премествания - y_1 или y_2 - е по-голямо. Ако $y_1 > y_2$, размерът d на обработваната повърхнина ще се увеличи, ако $y_1 < y_2$ - ще се намали.



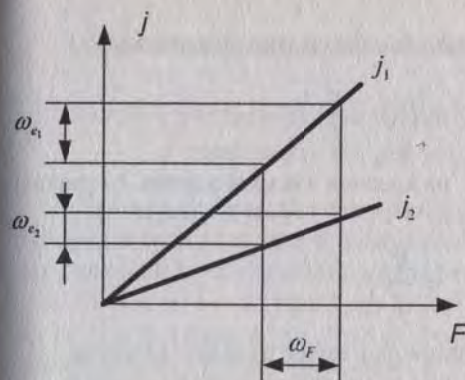
Фиг.19.2. Модел на възникване на грешка от еластични деформации при струговане

От уравнение (19.3) и разгледания пример се вижда, че еластичните премествания на технологичната система са функция на силата на рязане и стабилността. От своя страна силата на рязане е функция на редица фактори, действущи в процеса на обработване (вж. формула 2.8):

- режима на рязане (дълбочината, подаването и скоростта на рязане);
- свойствата на обработвания материал;



Фиг.19.1. Стабилност



Фиг.19.3. Разсейване на еластичните деформации

• геометрията на режещия инструмент и др.

Отклоненията на силата на рязане F , предизвикани от отклоненията на аргументите в уравнение (2.8), предизвикват отклонения на A_e , а следователно и на A_b (фиг.19.3):

$$\omega_e = \frac{\omega_F}{j} \quad (19.4)$$

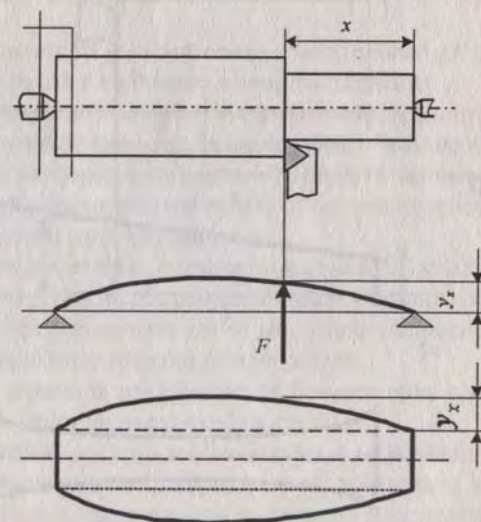
При това $\omega_{e2} < \omega_{e1}$, ако $j_2 > j_1$.

19.2. Механизъм на образуване на грешките от еластични деформации

Еластичните деформации на технологичната система са сума от деформациите на отделните елементи на тази система – машина, приспособление, режещ инструмент, обработван детайл. Ще разгледаме струговане на гладки валове, установени между центри. Ако приемем, че машината, приспособлението и инструментът са неподатливи (абсолютно стабилни), ще видим че в резултат на собствените еластични деформации на вала формата на обработваната повърхнина в надлъжно сечение е бъчвообразна (фиг.19.4).

В резултат на податливостта на предното и задното седло и относителното движение на инструмента и заготовката възниква грешка на формата в надлъжно сечение. Когато ножът се намира в сечение с координата x (фиг.19.5а), под действието на силата F възникват еластични деформации на предния и задния центри, а оста на заготовката се измества от положение 1 в положение 2 (фиг.19.5б).

Опорните реакции R_n и R_z



Фиг.19.4. Собствени деформации на обработвания детайл

при предния и задния центри, съответно, се определят от уравненията

$$R_n = F \frac{x}{l} \quad \text{и} \quad R_z = F \left(1 - \frac{x}{l}\right),$$

а еластичните деформации y_n и y_z на предния и задния центри - от уравненията

$$y_n = \frac{R_n}{j_n} \quad \text{и} \quad y_z = \frac{R_z}{j_z},$$

където j_n и j_z е стабилността на предното и задното седло, съответно.

Еластичните деформации в сечение x се определят от уравнението

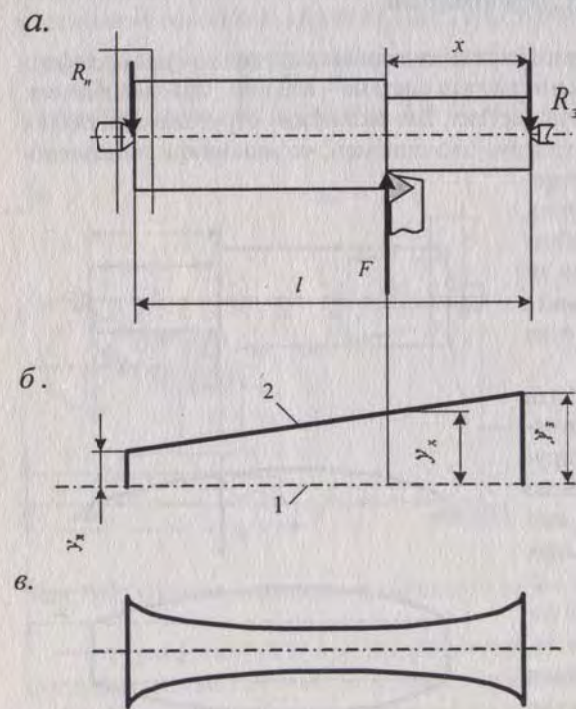
$$y_x = y_n + (y_z - y_n) \left(1 - \frac{x}{l}\right). \quad (19.5)$$

В надлъжно сечение на обработваната повърхнина възниква грешка на формата седлообразност (корсетност) (фиг.19.5в).

Подобни са механизмите на формиране на грешките от еластични деформации и за останалите схеми и методи на обработване.

Намаляването на грешките от еластичните деформации може да се постигне чрез:

- увеличаване на стабилността на технологичната система;
- съкращаване на размерните и кинематичните вериги;
- създаване на предварителна стегнатост в системата;
- намаляване на силата на рязане, основно, чрез намаляване на режимите на рязане;



Фиг.19.5. Зависимост на еластичните деформации от податливостта на технологичната система

- адаптивно управление на технологичните процеси.

19.3. Грешки от топлинни деформации, трептения и износване на режещия инструмент

Процесът на рязане е съпроводен с отделянето на значително количество топлина в зоната на рязане. Допълнително количество топлина се отделя от електрическите, електронните, хидравличните и др. системи на машината и приспособлението, а също така постъпва от околната среда. Значително количество от топлината, отделено в резултат на процеса на рязане, се отвежда със стружките, останалата част преминава в режещия инструмент и обработваната заготовка, изменяйки техните размери. В резултат на поглъщаната топлина се изменят и размерите на детайлите и възлите на технологичната система. В резултат на това възникват грешки от топлинни деформации. Най-голямо влияние върху точността на обработвания детайл оказват топлинните деформации на вретеното и вретенната кутия.

Изменението на линейните размери на обработваните детайли с голямо приближение може да се оцени по известната зависимост

$$\Delta_T = l \cdot \beta \cdot T, \quad (19.6)$$

където Δ_T е грешката от топлинни деформации; l - линейният размер; β - коефициентът на линейно разширение; $T, ^\circ C$ - изменението на температурата.

За детайли с високи изисквания за точност обаче е необходимо да се отчитат топлинните грешки на формата в надлъжно и напречно сечения.

С увеличаването на стабилността на технологичната система топлинните грешки придобиват все по-голям относителен дял. За намаляването им е необходимо да се поддържа постоянна температурата на технологичната система и на работното помещение, а температурата на заготовките от партидата преди изпълнението на съответната операция да се изравнява.

От всички видове трептения (собствени, принудени и самовъзбуждащи се) съществено влияние на точността на обработването оказват самовъзбуждащите се. За намаляването или отстраняването им се използват специални виброгасители или се изменят режимите и геометрията на рязане.

Грешките от износване на режещия инструмент се компенсират чрез поднастройване на технологичната система на размер (вж.гл.20).

При обработването на заготовки от труднообработваеми материали е възможно съществено размерно износване в границите на обработването на една повърхнина на заготовката. Това води до грешки на формата в надлъжно сечение на обработваната повърхнина.

Глава 20 НАСТРОЙВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНАТА СИСТЕМА НА РАЗМЕР

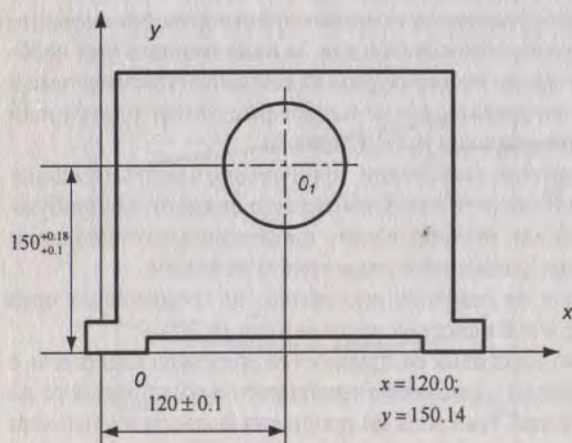
Процесът на първоначално установяване на необходимата точност на относителното движение и положение на изпълнителните повърхнини на инструмента и машината (приспособлението) с цел осигуряване на необходимата точност на обработваните повърхнини се нарича *настройване на технологичната система*. Настройването е кинематично и размерно. Принципите на кинематичното настройване са разгледани при изучаването на металорежещите машини. В тази глава ще разгледаме въпроса за настройването на технологичната система на размер.

При *настройване на технологичната система на размер* се решават две задачи:

- определяне на големината на размера на настройване A_n в момента на настройване;
- осъществяване на настройването.

При *индивидуалното получаване на размерите* настройването на размер се извършва за всеки обработван детайл (вж. гл. 17). Поради това е най-добре размерът на настройване A_n да съвпада със средната стойност A_{cp} на технологичния размер A :

$$A_n = A_{cp} = \frac{A_{\min} + A_{\max}}{2}, \quad (20.1)$$



Фиг.20.1. Определяне на размера A_n при позициониране

където A_{\min} и A_{\max} са, съответно, минимално и максимално допустимите гранични стойности на размера A .

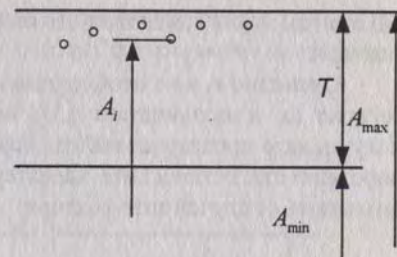
При получаване на размерите чрез позициониране, например, върху машини с ЦПУ именно този размер се задава в управляващата програма (фиг.20.1).

При получаване на размерите чрез пробни проходи за да

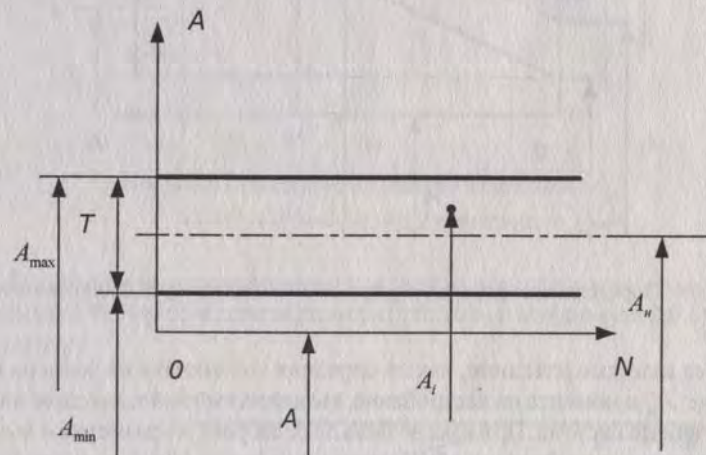
сведе до минимум вероятността за поява на брак операторът или системата за активен контрол (вж. гл.23) се стреми към получаването на размер A_{\max} при обхващащи размери (фиг.20.2) и A_{\min} при обхванати размери.

При *автоматичното получаване на размерите* настройването се извършва за обработване на партида детайли.

При статистически устойчиви технологични процеси (фиг.20.3) размерът на настройване се определя по формула (20.1).



Фиг.20.2. Получаване на размерите чрез пробни проходи



Фиг.20.3. Определяне на размера A_n при статистически устойчиви процеси

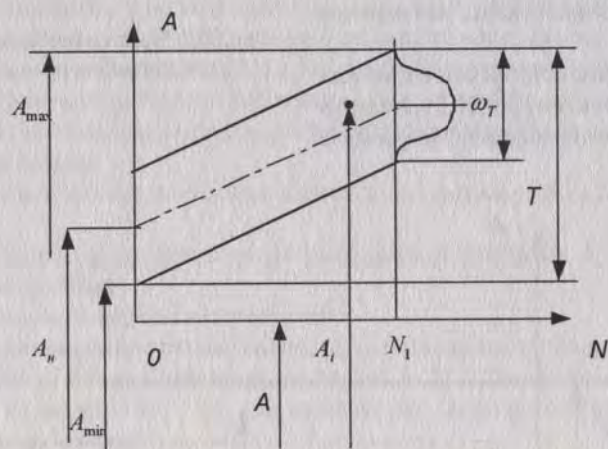
При технологически устойчиви процеси при определяне на размера A_n се изхожда от условието за обработване на възможно най-голям брой N_1 детайли при едно настройване. В този случай големината на размера се определя по формула (20.2) за обхващащи размери (фиг.20.4) и по формула (20.3) за обхванати размери:

$$A_n = A_{\min} + \frac{\omega_T}{2} \quad (20.2)$$

$$A_n = A_{\max} - \frac{\omega_T}{2} \quad (20.3)$$

където ω_T е мигновеното поле на разсейване, предизвикано от случайните фактори.

Очевидно е, че е необходима информация за мигновеното поле на разсейване ω_T и координатата ΔM_T на средата му. Тази информация може да се получи, като предварително се обработи група заготовки (20.....50 броя) и се определят статистическите характеристики \bar{m} и $\bar{\sigma}$ на разсейването, предизвикано от случайните фактори.



Фиг.20.4. Определяне на размера A_n при технологически устойчиви процеси

След като сме изяснили, как се определя големината на размера на настройване A_n в момента на настройване, възниква въпросът, как да се настрои технологичната система. При това не бива да се забравя, че размерът A възниква непосредствено в процеса на обработване и за всеки обработен детайл този размер A_i е различен (вж. гл.14).

Настройването при автоматично получаване на размерите може да се извърши по два метода:

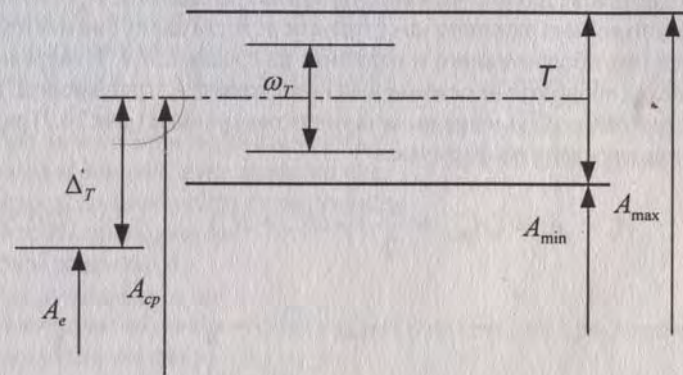
- статичен (по еталон);
- динамичен - по един детайл или по група детайли.

При *настройването по статичния метод* технологичната система се настройва на размера на статично настройване A_c с помощта на еталон. Еталонът се установява на мястото на обработвания детайл, а режещият инструмент се докосва до съответната повърхнина на еталона и се закрепва в това положение. След това еталонът се сваля и се обработват последователно заготовките от партидата.

При определяне на размера на еталона A_e (т.е. размера на статичното настройване A_c) трябва да се отчете възникващото в процеса на обработване

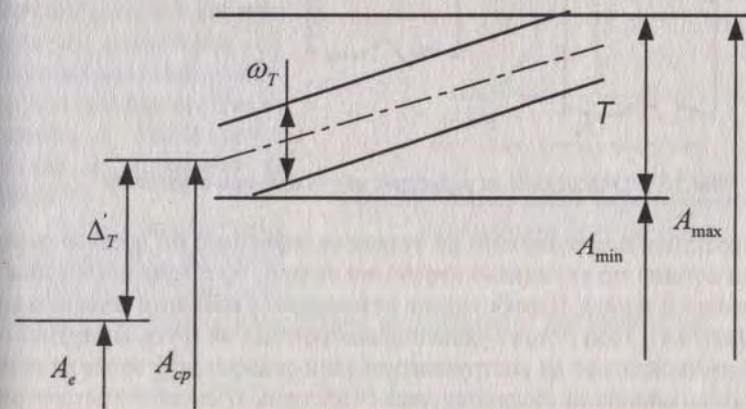
изменение Δ_T на размера от действието на динамичните фактори (вж.гл.14 и гл.17). За статистически устойчиви процеси (фиг.20.5) размерът на еталона се определя по формулата:

$$A_e = A_c = A_n - \Delta_T = \frac{A_{\min} + A_{\max}}{2} - \Delta_T. \quad (20.4)$$



Фиг.20.5. Определяне на размера на еталона A_e при статистически устойчиви процеси

За технологически устойчиви процеси размерът на еталона се определя по формула (20.5) за обхващащи размери (фиг.20.6) и по формула (20.6) за обхващани размери:



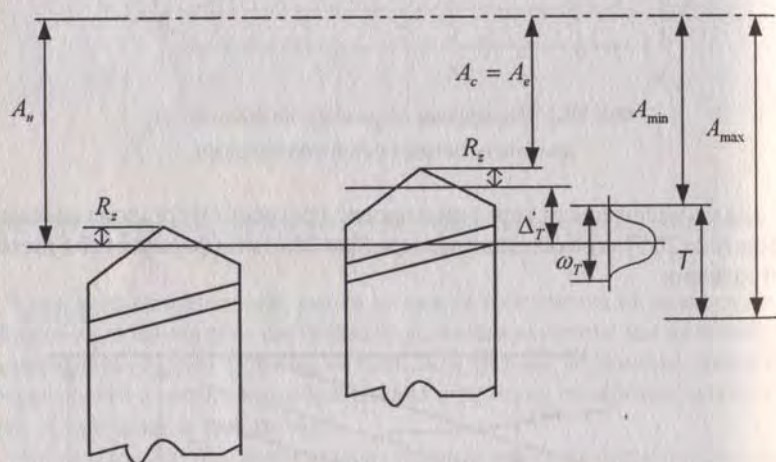
Фиг.20.6. Определяне на размера на еталона A_e при технологически устойчиви процеси

$$A_e = A_c = A_{\min} + \frac{\omega_T}{2} - \Delta'_T, \quad (20.5)$$

$$A_e = A_c = A_{\min} - \frac{\omega_T}{2} + \Delta'_T \quad (20.6)$$

При обработване чрез струговане, стъргане и фрезозане във формулите (20.4)...(20.6) трябва да се отчита височината на грапавините R_z , тъй като при настройването до повърхнината на еталона се докосва върхът на инструмента, намиращ се при обработването в падините на грапавините. Измерването на размерите след обработване се извършва по върховете на грапавините. Например, при струговане на външна цилиндрична повърхнина (фиг.20.7) размерът на еталона се определя по формулата

$$A_e = A_c = (A_{\min} + \frac{\omega_T}{2}) - (\Delta'_T + R_z) \quad (20.7)$$



Фиг.20.7. Определяне на размерите на еталона при струговане

На практика настройването по еталон се извършва: по предварително обработан детайл; по специално изработен еталон; чрез приспособление с измервателни часовници. В някои случаи се използват и набори от измервателни плочки (фиг.20.8). Този метод е удобен за настройване на група инструменти. При това настройването на инструментите един относно друг може да се извърши и извън машината. Например, така се настройват сменните револверни глави за револверните прътови автомати.

При настройването по еталон се допускат грешки от определяне на вели-

чините ω_T и Δ'_T , изработване на еталона, установяване на еталона и установяване на инструмента спрямо еталона. Сумарната грешка е сравнително голяма, а точността на получаваните размери - 9...10 степен. Ето защо настройването по еталон се използва при големи допуски на получаваните размери или за предварително настройване, което след това се уточнява по един детайл или по група детайли.

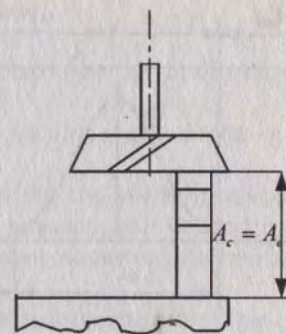
При *настройване по динамичния метод по един детайл* първоначално чрез пробни проходи се обработва един детайл така, че полученият размер A_1 да бъде равен на A_n .

Ако мигновеното поле на разсейване ω_T е симетрично разположено относно размера A_1 , процесът на настройване е завършен и може да се обработи партидата детайли. Размерът обаче е една случайна реализация на генералната съвкупност от размери A_i ($i = 1...N$). Следователно, мигновеното поле на разсейване ω_T може да бъде разположено по различен начин относно размера A_1 . Трите крайни случая са показани на фиг.20.9.

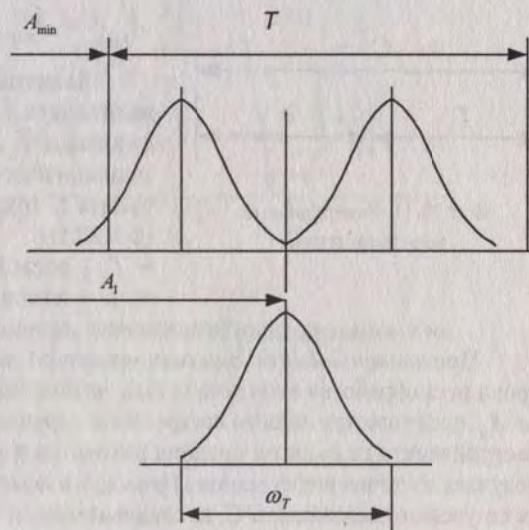
За да се получат само годни детайли, размерът A_n (фиг.20.10), получава при настройването по един детайл, се определя от неравенството:

$$A_{n_{\min}} \leq (A_n = A_1) \leq A_{n_{\max}}, \quad (20.8)$$

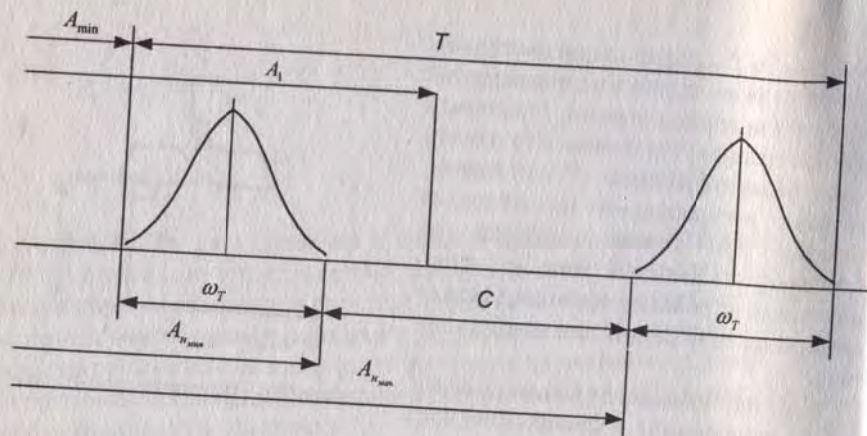
където $A_{n_{\min}} = A_{\min} + \omega_T$; (20.9)



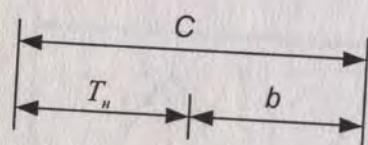
Фиг.20.8. Настройване по еталон



Фиг.20.9. Разположение на мигновеното поле на разсейване относно размера



Фиг.20.10. Настройване по един детайл



Фиг.20.11. Разпределяне на величината C

$$A_{n_{max}} = A_{max} - \omega_T. \quad (20.10)$$

За статистически устойчиви процеси величината $C = T - 2\omega_T$ е допуск за настройване T_n , т.е. допуск за размера A_n . За технологически устойчиви процеси величината C трябва да се раздели на две части (фиг.20.11):

- T_n - допуск за настройване;
- b - компенсиране на случайно-функционалните грешки (износването на режещия инструмент).

При *настройване по динамичния метод по група детайли* чрез пробни проходи се обработва един детайл така, че полученият размер A_1 да бъде равен на A_n , след това при същото настройване – група от n детайли. За точността на настройването се съди по средния размер на групата $A_{n_{cp}}$. По този начин се получава по-точна информация за размера в момента на настройването, и може да се увеличи величината C , а, следователно, и величината b . Този метод се използва при обработване на детайли с малки размери, например, за настройване на револверни автомати.

При изпълнение на технологично устойчиви процеси върху машини, настроени на размер, в резултат на влиянието на случайно-функционалните грешки (износването на режещия инструмент) настъпва момент, когато получаваните размери се приближават до горната граница на допусковото поле (при обхващащи размери). Обработването на следващите детайли при тези условия е съпроводено с вероятност за поява на брак. Следователно, е настъпил моментът за възстановяване на първоначалната точност на настройване на технологичната система, т.е. моментът за поднастройване. Тук възникват две задачи:

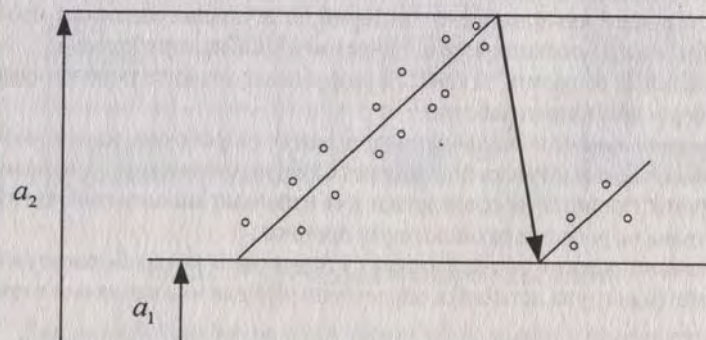
- определяне на момента за поднастройване;
- осъществяване на поднастройването.

За определяне на момента за поднастройване (фиг.20.12) се използват контролни карти (вж. фиг.14.15).

За осъществяване на поднастройването се използват два метода – пълна взаимозаменяемост и регулиране.

Методът на пълната взаимозаменяемост предполага замяна на износения инструмент с друг, предварително настроен на размер извън машината. При използване на инструменти с механично закрепени сменяеми пластини може да се смени само пластината.

При използване на метода на регулиране поднастройването се извършва чрез изместване на режещия инструмент с помощта на различни устройства за точно и плавно преместване.



Фиг.20.12. Определяне на момента на поднастройване

ПРОЕКТИРАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИ ПРОЦЕСИ ЗА ИЗРАБОТВАНЕ НА ДЕТАЙЛИТЕ

21.1. Цели и задачи

Технологичното проектиране е сложна инженерна задача и представлява комплекс от проектно-изчислителни работи, в които влиза проектирането на технологичния процес, проектирането на приспособления, режещи, измервателни и спомагателни инструменти, разработване на управляващи програми, а в някои случаи и проектиране на нестандартно оборудване, стендове за изпитване, регулиране и др.

Целта при това е създаване на оптимален технологичен процес по предварително зададени икономически критерии, осигуряващ изделия с необходимото качество и в необходимото количество и срок на изработване.

В зависимост от целите, за които се разработват, технологични процеси са два вида – перспективни и работни.

Перспективните технологични процеси се разработват на основата на последните научно-технически постижения с цел развитие и модернизирание на производството. Реално те не се внедряват, а се използват впоследствие като база за разработване на работни технологични процеси.

Работните технологични процеси се проектират за изработване на конкретен детайл (или група детайли) в определени условия и се внедряват в производството.

В зависимост от множеството детайли, за които се разработват, технологичните процеси са три вида – единични, типови и групови.

Единичните технологични процеси се проектират за изработване на един конкретен детайл в определени производствени условия и са валидни само за този детайл и за тези условия.

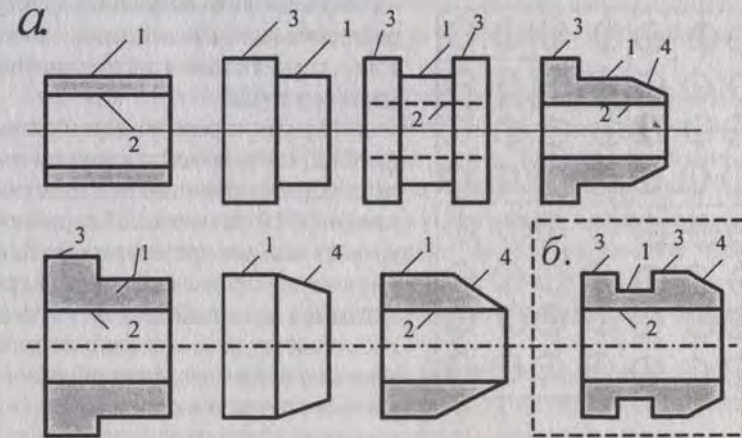
Типовите технологични процеси се разработват за съвкупност от детайли с общи конструктивни и технологични белези, например, валове, втулки, зъбни колела и т.н. Тази съвкупност се нарича *тип*, откъдето идва и наименованието. Те се използват като база за проектиране на единични технологични процеси.

Груповите технологични процеси се проектират за съвкупност от детайли или повърхнини, които могат да се обработят на една и съща технологична система при едно и също настройване. Груповият технологичен процес може да се проектира за цялостно обработване на детайлите или да се ограничи с няколко отделни операции.

Груповите технологични процеси много успешно се използват за детайли, изработването на които се извършва само за една операция (например за детайли, изработвани на револверни автомати или чрез щанцоване).

На фиг.21.1а е показана група детайли с общи конструктивни и техно-

логични признаци, обработвани на револверен автомат. Груповият технологичен процес се разработва за комплексния детайл (фиг.21.1б), съдържащ всички повърхнини на всички детайли от групата. Револверният автомат се настройва за обработването на този детайл. Това дава възможност без съществено пренастройване да се обработят всички детайли от групата.

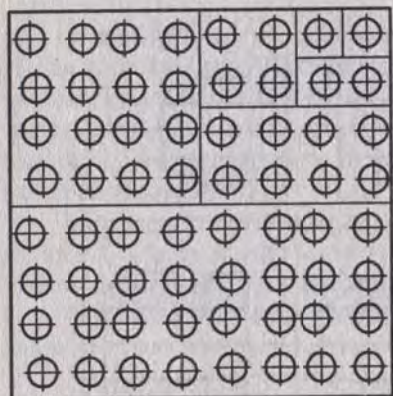


Фиг.21.1. Група детайли и комплексен детайл

При разработването на рационални технологични процеси трябва да се отчитат тенденциите в развитието на технологията на машиностроенето:

- максимално доближаване на формата и показателите на качество на заготовката към формата и показателите на качество на готовия детайл. Точните заготовки не само дават възможност за икономия на материал, но и значително намаляват трудоемкостта на механичното обработване, потребностите от металорежещи машини и инструменти, себестойността на целия процес за изработване на детайла; диференциация и концентрация на операциите;
- интензификация на технологичните процеси и повишаване на производителността на труда чрез използване при механичното обработване на високопроизводително автоматично и автоматизирано оборудване – автоматични линии и агрегатни машини в масовото и едросерийното производство и машини с ЦПУ и ГАПС в серийното и единичното производство;
- интензификация на технологичния процес чрез използване на инструментални материали, работещи при много високи скорости на рязане (металокерамика, минералокерамика, изкуствени и естествени диаманти);

- използване на електрофизични процеси за механично обработване (електронно-лъчеви, светлинно-лъчеви, електроерозионни, ултразвукови и др.);
- използване на групови технологични процеси;
- оптимизиране на технологичните процеси на различни нива и т.н.



Фиг.21.2. Диференциация на технологичните преходи

мът работа може да се диференцира по-нататък и да се разбие на 4, 8, 16 и т.н. части като технологичния процес се осъществи на 4, 8, 16 и т.н. едновременно работещи машини, съставляващи поточна линия. При това за сметка на извършването от всяка машина само на част от общия обем работа целият технологичен процес се осъществява съответно число пъти по-бързо, отколкото при последователно обработване на един детайл.

Диференциацията може да продължи по-нататък до достигането на елементарен технологичен процес. Например, ако тези отвори се пробиват, зенкерват и райберват, то количеството на отделни технологични преходи ще бъде 3.М. Тези преходи ще бъдат организирани съответно в 3.М операции.

Вместо група машини чрез концентрация на диференцираните предварително преходи може да се използва многопозиционна машина или автоматична линия, последователно изпълняваща технологичния процес. Ако пък се използват три многовретенни глави съответно за пробиване, зенкерване и райберване, целият технологичен процес може да бъде съсредоточен на една агрегатна машина с три работни позиции.

Концентрацията на операциите може да се извършва последователно, успоредно и смесено. Различните методи имат различна възможност за повишаване на технологичната производителност.

Диференциация и концентрация на операциите са методи за структуриране на технологичния процес, способстващи за увеличаване на производителността на груда.

Ще разгледаме примера, показан на фиг.21.2, съгласно който в плочата трябва да се обработят множество M еднакви отвори [33]. Целият този обем работа може да се изпълни последователно на една машина за определено време. Но работата може да се разбие на две части и обработването да се извърши не на една машина, последователно обработваща всички отвори, а на две машини, едновременно обработващи два детайла. Тогава продължителността на обработване при извършване на същия обем работа ще се намали два пъти. Аналогично обе-

Последователната концентрация се използва за сложни и трудоемки технологични процеси, изискващи последователно обработване с различни инструменти. В частност, обработването на детайли върху машини с ЦПУ се извършва при последователна концентрация. Успоредната концентрация се използва за прости технологични преходи, където раздробяването на отделни операции е нецелесъобразно, например, пробиването на множество отвори с една многовретенна глава. Разгледаната по-горе агрегатна машина с три работни позиции с многовретенни глави е пример за последователно-успоредна концентрация на операциите.

Реалните технологични процеси нямат безгранични възможности за диференциация и концентрация на операциите. Но съвременната технология разполага с такова голямо разнообразие от методи за обработване, че практически винаги има възможност за разработване на множество варианти на технологичния процес с различна степен на диференциация и концентрация.

Последователността на проектиране на технологичните процеси е показана на фиг.21.3.

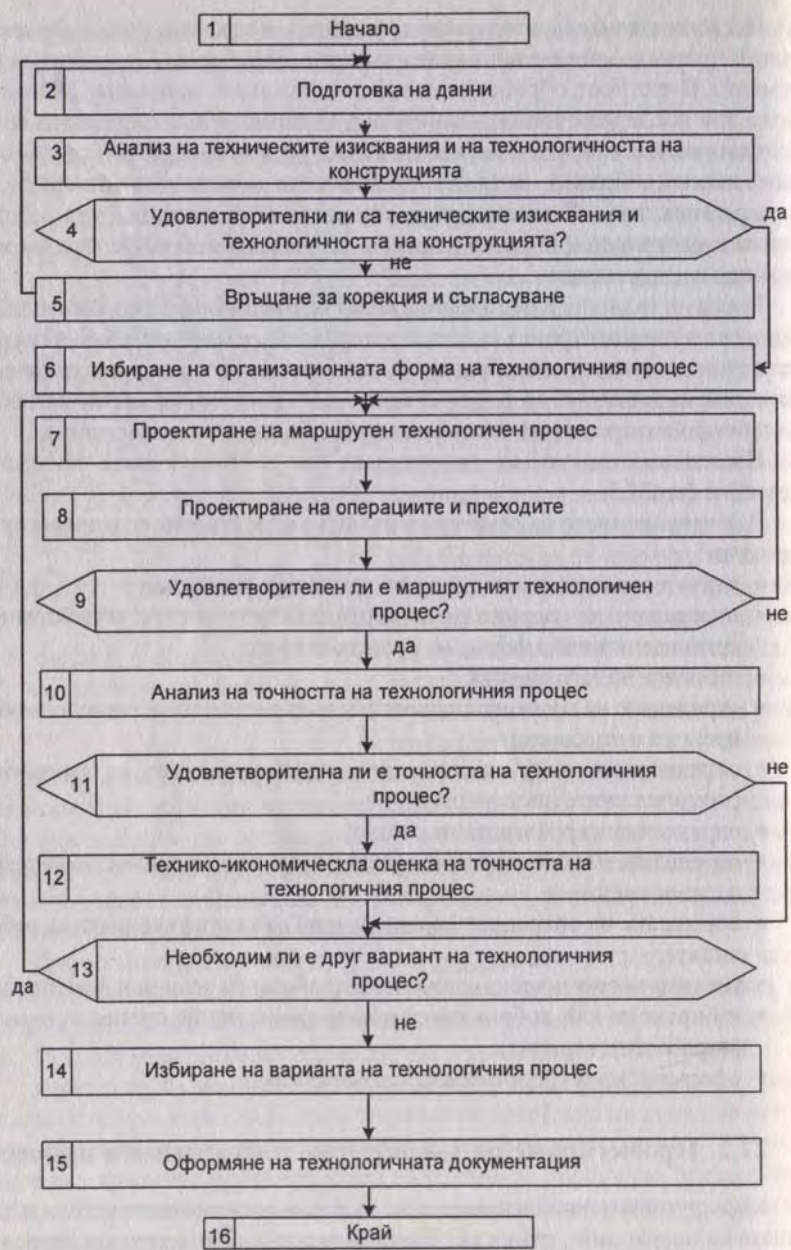
При изпълнението на различните етапи на проектиране се решават следните задачи:

- подготовка и анализ на входните данни за проектиране;
- определяне на големината на партидата заготовки за обработване и организационната форма на производството;
- избиране на заготовката;
- определяне на последователността и съдържанието на технологичните преходи и операции;
- определяне на вида и количеството на оборудването, на режещите и спомагателните инструменти;
- определяне на режимите на рязане;
- определяне на технологичните размери и анализ на точността на технологичния процес;
- нормиране на операциите и определяне на квалификацията на работниците;
- технико-икономическа оценка на разработения технологичен процес;
- избиране на най-добрия вариант на технологичния процес от няколко разработени варианта;
- оформяне на технологичната документация.

21.2. Проектиране на маршрутен технологичен процес

Маршрутният технологичен процес включва последователността и съдържанието на операциите, данни за оборудването, технологичната екипировка, материалните и трудови норми.

Входни данни и организационно-технически условия за проектиране. При проектиране на технологичните процеси са необходими следните входни данни:



Фиг. 21.3. Последователност на проектиране на технологичните процеси

1. Сведения за целевото предназначение на технологичния процес (проектиране на ново предприятие, преработване на действащи технологични процеси).

2. Сборен чертеж с кратко описание на служебното предназначение и технически условия за приемане на готовото изделие.

3. Работни чертежи, определящи материала, конструктивната форма и размерите на детайла, точността и грапавостта на обработваните повърхнини, а също така особените изисквания (твърдост и структура на материала, термообработване, балансирание и др.).

4. Годишна производствена програма с отчитане на необходимите детайли за резервни части.

5. Планиран период от време (в години) за произвеждане на изделието и запасните части по неизменни чертежи.

При проектиране на технологични процеси за действащи предприятия са необходими допълнителни сведения: налично оборудване, възможност за поръчване и закупуване на ново оборудване, планировка на оборудването и работните места и възможностите за изменение на тази планировка, наличните работници и тяхната квалификация, действащите технологични процеси, техните технико-икономически показатели (в това число надеждност на осигуряване на качеството на продукцията) и приетата организационна форма, зададените показатели за повишаване на производителността на труда, намаляване на себестойността на продукцията и др.

Освен това са необходими справочни данни за типови технологични процеси, прогресивно технологично оборудване и екипировка, режими на рязане, прибавки, точност и надеждност на технологичните операции.

Последователността на проектиране на маршрутен технологичен процес е следната:

1. Избиране на метод за получаване на заготовката.

На този избор оказват влияние: материалът на детайла, служебното му предназначение и техническите изисквания, обемът и серийността на производството, формата на повърхнините и размерите на детайла.

Окончателните размери на заготовката се уточняват чрез размерен анализ на технологичния процес.

2. Разработване на плана за обработване на заготовката, определящ последователността на операциите или групите операции за обработване чрез рязане, а също така и съдържанието и мястото на термичните, галваничните, шлосерските и контролните операции. Като изходни материали се използват заводски или типови технологични процеси, препоръки от литературни източници за разделяне на технологичния процес на етапи (таблица 21.1).

3. Разкриване на размерните връзки между повърхнините на детайла. Избиране на базите за операциите след първата.

Въпросът за избирането на базите е разгледан в т.21.6.

4. Определяне на технологичните комплекти повърхнини. Това са множества от повърхнини, които по технологични съображения трябва да се обработят

Таблица 21.1

Етап	Съдържание на етапа
0	Получаване на заготовката. Термообработване – отпускане, отгряване или нормализиране – за подобряване на обработваемостта.
1	Обработване на повърхнините, които ще се използват за технологични бази на следващите операции.
2	Обработване на основните повърхнини, имащи най-голямо значение за работата на детайла в изделието, или имащи най-големи размери, или за които не се допускат повърхностни дефекти. Точност на размерите 12...14 степен, точност на формата и разположението на повърхнините X...XII степен, грапавост $R_z = 10...20 \mu km$, $R_a = 2,5...5 \mu km$.
3	Термообработване за сваляне на вътрешните напрежения.
4	Възстановяване на базите и получисто обработване на основните повърхнини. Точност на размерите 10...12 степен, точност на формата и разположението на повърхнините VIII...IX степен, грапавост $R_z = 6,3...10 \mu km$, $R_a = 1,25...5 \mu km$.
5	Термообработване за подобряване на качеството на средните и повърхностните слоеве на материала.
6	Възстановяване на базите и чисто обработване на основните повърхнини. Точност на размерите 8...9 степен, точност на формата и разположението на повърхнините VI...VII степен, грапавост $R_z = 3,2...6,3 \mu km$, $R_a = 0,63...1,25 \mu km$.
7	Изпълнение на второстепенни операции (обработване на крепежни отвори, фаски, канали), обработване на лесно повреждащи се повърхнини (например, резби).
8	Почистване на мустаци, притъпяване на остри ръбове.
9	Нанасяне на размерни, защитни и декоративни покрития.
10	Довършващо обработване на основните повърхнини. Точност на размерите 5...7 степен, точност на формата и разположението на повърхнините IV...V степен, грапавост $R_z = 0,8...1,6 \mu km$, $R_a = 0,16...0,32 \mu km$.
11	Балансиране.
12	Стабилизиращо стареене или отпускане.

за една установка.

Точността на размерите (линейни и ъгли), получени при обработване за една установка, не зависи от грешките от базиране. Затова в един технологичен комплект обикновено се включват повърхнини, свързани с размери с малки допуски.

Рационално е също така създаването на технологични комплекти от организационно-икономически съображения с цел създаване на условия за концентрация на преходите и съкращаване на времето за обработване.

5. Избиране на технологичния комплект, който ще се обработва на първата операция. В този комплект трябва да влизат повърхнините, които ще се използват за базови на следващите операции.

6. Избиране на базите за първата операция.

7. Избиране на типа на оборудването и уточняване на базите за всички операции. Определяне на рационалната последователност за обработване на технологичните комплекти.

Предварително разработване на технологични схеми.

8. Уточняване на специалните и спомагателни операции и мястото им в маршрутния технологичен процес.

9. Избиране на плана за обработване на елементарните повърхнини.

Повърхнините на детайла се разделят по видове – равнинни, външни цилиндрични, вътрешни цилиндрични и т.н. За всеки вид повърхнина се избира представител. Като представителни повърхнини се избират повърхнините, за които са зададени най-малки допуски на размерите, формата, взаимното разположение и качеството на повърхностния слой. За тях се определят степените на обработване, т.е. видът и количеството на технологичните преходи, изпълнявани на една или няколко операции и необходими за осигуряване на зададените допуски. Решенията, приети за представителните повърхнини, се разпространяват и за останалите повърхнини от групата с отчитане на конкретните изисквания.

Планът за обработване на отделните повърхнини обикновено се определя на основата на типови планове, препоръчвани в технологичната литература [30], [31] и др.

10. Формиране на операциите и окончателно уточняване на маршрута.

21.3. Проектиране на технологичните операции и преходи

При проектирането на технологичните операции и преходи се решават следните задачи:

1. Определяне на прибавките (вж. тт. 21.4).

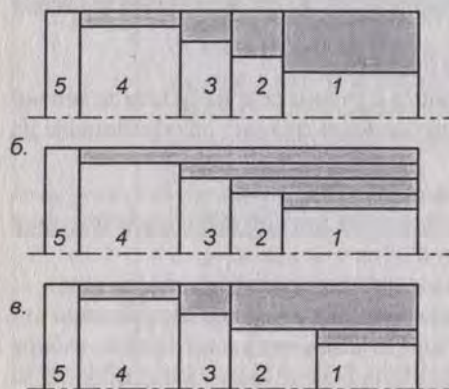
2. Проектиране на условията за осигуряване на необходимата точност на обработване – избиране на машините, приспособленията, схемата и средствата за измерване, метода за настройване на технологичната система на размер.

При проектирането на маршрутния технологичен процес се избира само типът на оборудването, при проектирането на операциите се избира конкретният модел на машина. Окончателното решение се приема при проектирането на преходите, когато се определят силите и мощностите на рязане.

3. Формиране на рационална структура на операциите.

Под структура на операцията се разбира броят, съдържанието и последователността на изпълнение на технологичните преходи. Рационалната структура на операциите се избира на основата на размерния анализ и логическите

решения, заложи в типовите препоръки. При струговане задачата за проектиране на рационална структура се проявява нагледно при проектиране на операция за струговане на стъпален вал.



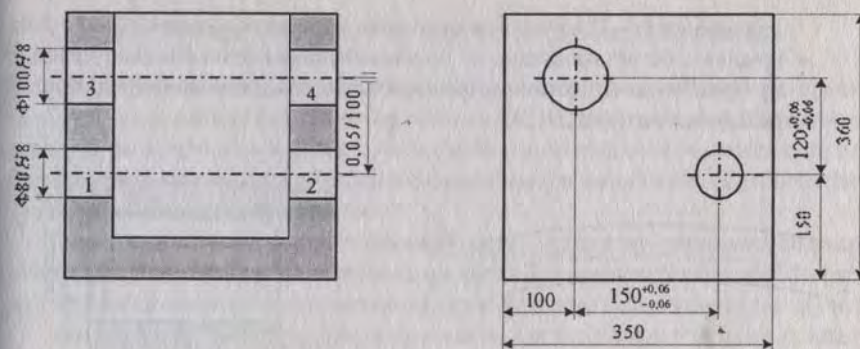
Фиг.21.4. Варианти на структурата на преходите при обработване на стъпален вал

Три типа схеми на струговане на стъпален вал от прътов материал са показани на фиг.21.4. Схемата на фиг.21.4а осигурява най-голяма производителност, схемата на фиг.21.4б – висока точност на размерите на повърхнините 1 и 2. Третата, междинна, схема (фиг.21.4в) осигурява висока производителност и достатъчно висока точност на стъпалото 1.

На фиг.21.5 е показан корпусен детайл (заготовка – отливка от чугун), обработван в условията на дребносериеното производство на обработващ център с хоризонтално вретено. На операцията разстъргване на отворите за една установка има два основни варианта:

Вариант 1. Разстъргване на съосните отвори 1 и 2 грубо с конзолна борщанга, след това – чисто. След позициониране по същата схема се обработват отворите 3 и 4. Броят на смените на борщангите зависи от това, с еднакви или различни диаметри са отворите. Този вариант осигурява добре точността на взаимното разположение на съосните отвори 1-2 и 3-4, но се работи с борщанги с голяма дължина. Това води до повишени еластични деформации при обработване на отворите 2 и 4 и може да предизвика обработването им вместо за два, за три прехода.

Вариант 2. Обработването се извършва с къси борщанги от двете страни – разстъргва се грубо и чисто отворът 1, след позициониране – отворът 3. Завърта се масата и по същата схема се обработват отворите 2 и 4. Предимствата на този вариант са в по-голямата стабилност на борщангите. Недостатъците са в значителното увеличаване на спомагателното време за завъртане на масата и



Фиг.21.5. Варианти на структурата на преходите при обработване на отвори в корпусен детайл

по-големия брой смени на инструментите, а също така в намаляването на точността (съосност и успоредност) на отворите поради по-големия брой координатни премествания.

4. Проектиране на технологичните преходи – определяне на броя на преходите, на режима на рязане и на основното време T_o (вж. т.21.7).

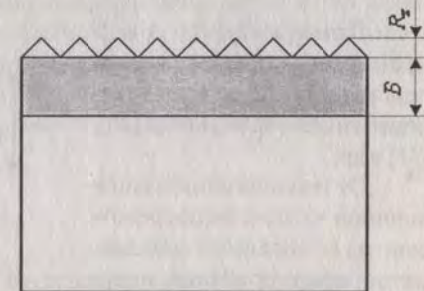
21.4. Прибавките за обработване

Прибавка се нарича слой материал, отстраняван в процеса на обработване на заготовката до достигане на зададените показатели на качество на детайла. Прибавките са междинни и общи.

Междинна прибавка е слой материал, свалян при изпълнението на един технологичен преход за механично обработване. Общата прибавка е равна на сумата от междинните прибавки.

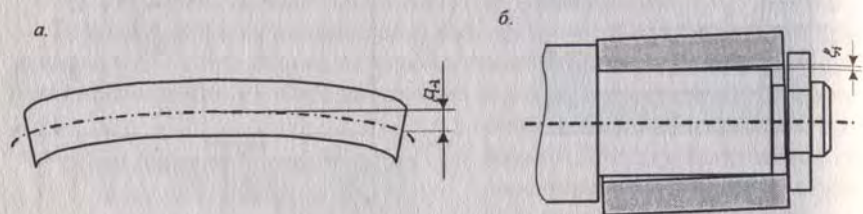
Минималната междинна прибавка $z_{i_{min}}$ за i -я технологичен преход се определя от следните фактори:

- височината на грапавините $R_{z_{i-1}}$, получени на предшестващия $(i-1)$ преход (фиг.21.6);
- дълбочината B_{i-1} на дефектния повърхностен слой, получен на предшестващия $(i-1)$ преход;
- пространствените отклонения ρ_{i-1} на обработваната повърхнина относно технологичните бази, получени на пред-



Фиг.21.6. Определяне на минималната междинна прибавка

- шестващия ($i-1$) преход, не влизащи в допуса на размера (фиг.21.7а);
- грешката от установяване ξ_i на изпълнявания технологичен преход, предизвикана от неорганизирана смяна на базите или неопределеност на базирането (фиг.21.7б).



Фиг.21.7. Грешки от пространствени отклонения и от установяване

При едностранно обработване минималната междината прибавка се определя от уравнението

$$z_{i_{min}} = R_{z_{i-1}} + B_{i-1} + \rho_{i-1} + \xi_i, \quad (21.1)$$

а при двустранно обработване – от уравнението

$$2 \cdot z_{i_{min}} = 2 \cdot (R_{z_{i-1}} + B_{i-1} + \rho_{i-1} + \xi_i), \quad (21.2)$$

Сумата на минималната междината прибавка и допуса T_{i-1} на размера, получен на предшестващия преход, се нарича номинална прибавка z_{iH} (фиг.21.8):

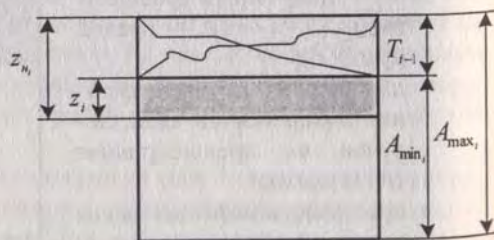
$$z_{iH} = z_{i_{min}} + T_{i-1}. \quad (21.3)$$

Сумата на номиналната прибавка и допуса T_i на размера, получен на изпълнявания i преход, се нарича максимална прибавка $z_{i_{max}}$

$$z_{i_{max}} = z_{iH} + T_i. \quad (21.4)$$

Данните R_z , B , ρ и ξ за аналитично определяне на прибавките са приведени в технологичните справочници [30], [31] и др.

От технологичните справочници може и непосредствено да се определят междинните и общи прибавки, получени по опитно-статистически път. Обаче тези данни обикновено са завишени.



Фиг.21.8. Номинална прибавка

21.5. Размерен анализ на технологичните процеси

Размерният анализ на технологичните процеси позволява на етапа проектиране да се разкрият размерните връзки, възникващи при последователното изпълнение на технологичните преходи и операции и на тази основа да се прогнозира осигуряването на най-важните показатели на качество на обработваните детайли – показателите на точност.

Разкриването на технологичните размерни връзки при решаване на проверочната задача се извършва чрез последователен анализ на технологичния процес, като се започне от последната операция. При това са възможни два случая:

а. Технологичният размер, получаван на разглежданата операция, съвпада с конструкторския, т.е. получава се двузвенна размерна верига. Необходимо е да са изпълнени условията:

$$\omega_D \leq T_D; \quad (21.5)$$

$$\Delta I_D \geq EI_D; \quad (21.6)$$

$$\Delta S_D \leq ES_D. \quad (21.7)$$

в противен случай ще възникне брак.

Ако е изпълнено само условието $\omega_D \leq T_D$, трябва да се извърши поднастройване на технологичната система.

б. Разглежданият конструктивен размер не съвпада с технологичния, получаван при изпълнението на дадена операция, а се явява затварящо звено на тризвенна размерна верига. В тази верига едното от съставните звена е получавания технологичен размер на разглежданата операция, другото - размер, получен на предшестваща операция или преход. При разглеждането на предшестващата операция (преход) ще възникне или случай а, при което анализът ще завърши, или случай б, при което анализът ще продължи към следващата предшестваща операция.

Описаният метод ще разгледаме на примера, показан на фиг. 21.9а. Необходимо е да се определят номиналните стойности, полетата на разсейване и граничните отклонения на размерите h и H , получени в резултат на изпълнението на технологичния процес (фиг. 21.9б).

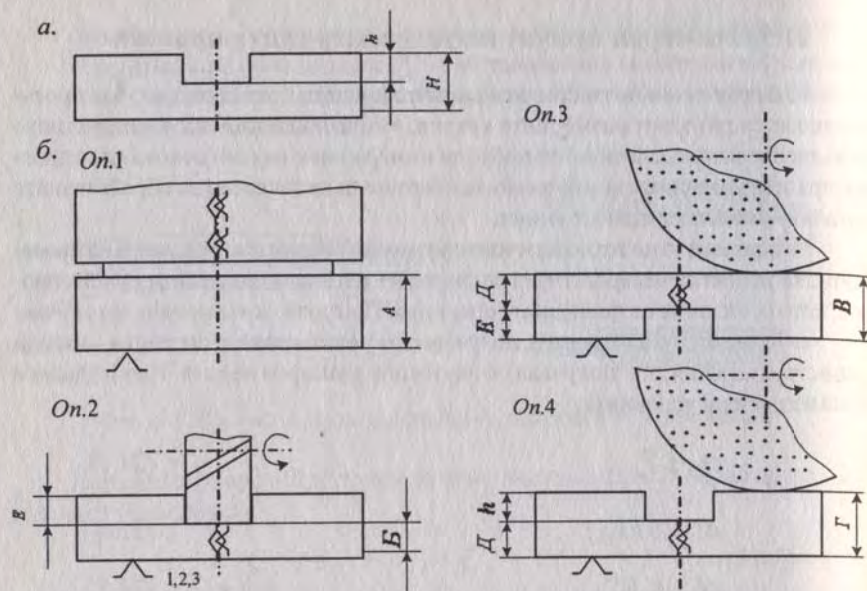
Размерът H се получава на операция 4 (шлифоване) от двузвенната размерна верига

$$H = \Gamma;$$

$$\omega_H = \omega_\Gamma.$$

Размерът h се получава също на последната, четвърта операция, но не непосредствено, а чрез тризвенната размерна верига

$$h = \Gamma - \Delta.$$



Фиг.21.9. Разкриването на технологичните размерни връзки при решаване на проверочната задача

Размерът Γ се получава на последната операция, а размерът D – на операция 3 (шлифоване) чрез тризвенната верига

$$D = B - E.$$

На тази операция се получава непосредствено размерът B , размерът E се получава на операция 2 (фрезозане) чрез тризвенната размерна верига

$$E = A - B.$$

Размерът B се получава непосредствено на втора операция, а размерът A – на операция 1 (отрязване).

Следователно:

$$h = \Gamma - B + A - B;$$

$$\omega_h = \omega_\Gamma + \omega_B + \omega_B + \omega_A$$

Ако, например, $T_H = 0,02$ mm; $T_h = 0,2$ mm; $T_A = 0,2$ mm; $T_B = 0,1$ mm; $T_B = 0,05$ mm; $T_\Gamma = 0,02$ mm, то

$$\omega_h = T_\Gamma = 0,02$$
 mm;

$$\omega_h = 0,2 + 0,1 + 0,05 + 0,02 = 0,37$$
 mm;

$$\omega_h > T_h.$$

Както се вижда, полето на разсейване на размера h е много по-голямо от допуска на този размер, следователно технологичният процес не може да се използва. Необходимо е да се потърси друго решение.

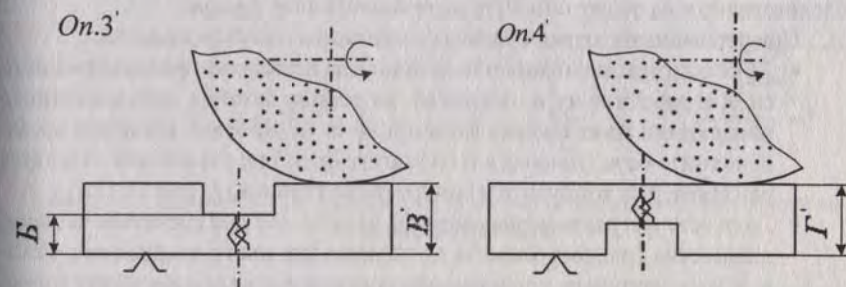
Ще използваме случая за да покажем, че чрез изменение на последователността на операциите може да се влияе на точността на технологичния процес. На фиг.21.10 е показан вариант на технологичния процес от фиг.21.9б, като е разменено мястото на последните две операции. На пръв поглед нищо не се е изменило, двата варианта са абсолютно еднакви. Но при новия вариант размерът h се получава окончателно не на последната, а на предпоследната операция

$$h = B' - B.$$

Следователно:

$$\omega'_h = \omega'_B + \omega_B = 0,05 + 0,1 = 0,15$$
 mm.

$$\omega_h < T_h.$$



Фиг.21.10. Вариант на технологичния процес

Решаването на проектната задача. В резултат на разкриването на всички размерни връзки, възникващи при преобразуването на детайла в заготовка, се получава система от N линейни уравнения с N неизвестни, където N е броят на разглежданите повърхнини (на заготовката, на обработения детайл и временно възникващи в процеса на обработване). За решаването на тази задача са разработени компютърни програми.

21.6. Избиране на базите при проектиране на технологичните процеси

В гл.17 беше показано, че в баланса на точността на размерите на детайла значителна част заемат грешките от базиране. Ето защо при проектиране на технологичните процеси на въпроса за избиране на базите се обръща особено внимание.

Подходът за избиране на базите за първата операция и за операциите след първата е различен. Трябва да подчертаем, че на първата операция би трябвало да се обработи пълен комплект технологични бази за следващите операции. Не винаги това е възможно, често при проектиране на технологичните процеси пълен комплект технологични бази се обработва за две операции. Поради това всичко, което ще бъде казано за избирането на базите за първата операция, се отнася за групата първи операции, на които се обработва пълен комплект технологични бази.

При избиране на базите за първата операция се решават две основни задачи:

- Осигуряване на точността на взаимното разположение на обработваните повърхнини и повърхнините, които въобще не се обработват.
- Разпределение на фактически съществуващите прибавки за обработване между отделните повърхнини, подлежащи на обработване.

Правилното решение на тези задачи оказва съществено влияние на количеството на технологичните преходи за обработване на отделните повърхнини, а следователно и на себестойността на технологичния процес.

При решаване на първата задача се изхожда от необходимостта:

- Да се осигури възможността детайлът да изпълнява предназначението си при работата му в изделието. За редица детайли изпълнителните повърхнини имат сложна форма и не се обработват, в същото време основните бази (понякога и спомагателните) се обработват. Характерен пример са корпусите и лопатките на турбините (фиг.21.11а).
- Да се осигури равномерна дебелина на стените с цел достигане на якост, динамична уравновесеност и, не на последно място, външен вид. Такава задача, например, се решава при проектиране на технологични процеси за обработване на детайли от типа на лостове, в частност биели на двигатели с вътрешно горене и на компресори (фиг.21.11б).



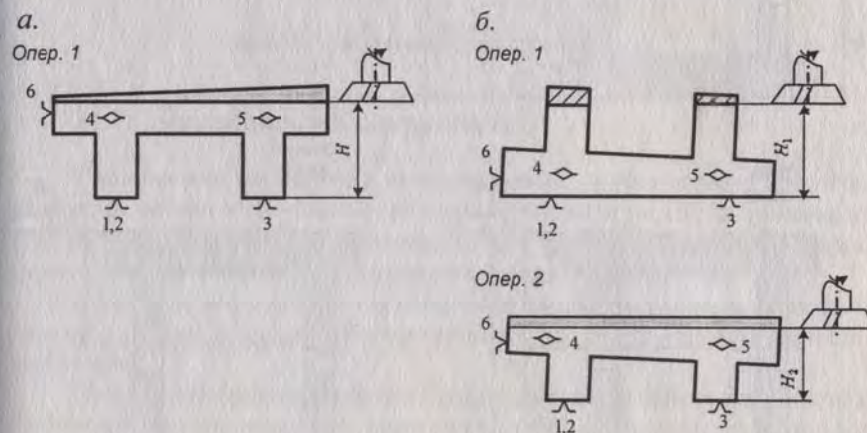
Фиг.21.11. Изисквания за взаимно разположение на обработени и необработени повърхнини

При решаване на втората задача се изхожда от необходимостта:

- Да се запази пътен еднороден слой метал на повърхнините на де-

тайлите, подложени на интензивно износване при работа в изделието, с цел да се повиши тяхната износоустойчивост (фиг.21.12).

- Да се осигури равномерно разпределение на прибавката за обработваните повърхнини и преди всичко за повърхнините, точността на които се постига най-трудно. При обработване на корпусни детайли това са основните отвори (фиг.21.13).



Фиг.21.12. Осигуряване на равномерна прибавка за повърхнини, подложени на интензивно износване

С помощта на технологични размерни вериги може да се докаже следното правило:

За да се осигури равномерна прибавка за обработване на дадена повърхнина, на първа операция тази повърхнина трябва да се използва за технологична база.

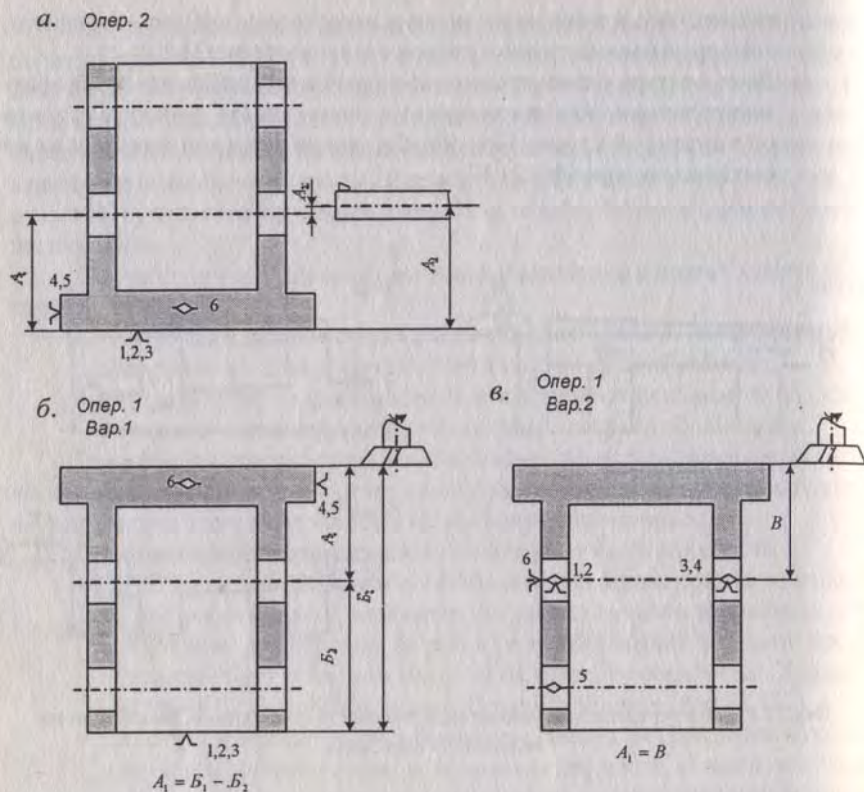
За да се осигури точността на взаимното разположение на обработваните повърхнини и повърхнините, които въобще не се обработват, на първа операция тези повърхнини трябва да се използват за технологични бази.

При избиране на базите трябва строго да се спазва правилото:

Необработена повърхнина (черна база) не може да се използва за технологична база, налагаща ограничение по координатна ос, по направление на която вече има обработени повърхнини. В противен случай се нарушава точността на взаимното разположение на повърхнините.

При избиране на базите за операциите след първата (чистите бази) се изхожда от два принципа – на постоянство и на единство на базите.

Принципът на постоянство на базите предполага използването на един комплект бази за всички или за повечето от операциите след първата. Желателно е това да са повърхнините, използвани за основни конструкторски бази.

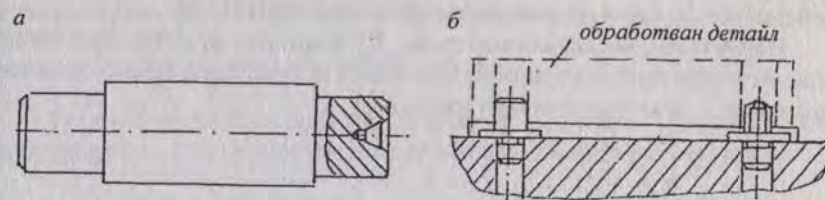


Фиг.21.13. Осигуряване на равномерна прибавка за основни отвори

В редица случаи принципът на постоянство на базите се реализира чрез създаване на изкуствени технологични бази. Типичен пример за изкуствени технологични бази е използването на центрови отвори при обработване на валове (фиг.21.14а) и използването на равнина и два отвора при обработване на плочи и корпусни детайли (фиг.21.14б).

Принципът на постоянство на базите предполага използването за технологични бази на повърхнините, от които са зададени съответните конструкторски размери. При прилагането на този принцип най-често се използват настроенни бази, не съвпадащи с установъчните.

При проектирането на технологичните процеси се препоръчва да се изхожда преди всичко от принципа на постоянство на базите. Принципът на единство на базите се използва в случаите, когато трябва да се осигури получаването на много точни линейни или ъглови размери.



Фиг.21.14. Изкуствени технологични бази

21.7. Нормиране на операциите

Техническото нормиране в широкия смисъл на това понятие представлява установяване на технически обосновани норми за разход на производствени ресурси. При това под производствени ресурси се разбира енергията, суровините, материалите, инструментите, работното време и т.н.

Особено важна е задачата за нормиране на работното време, т.е. нормирането на труда. Нормирането се извършва по два метода – аналитичен и статистически.

При *опитно-статистическото нормиране*, използвано в единичното и дребносерийното производство, нормата се установява за цялата операция чрез сравняване с нормите и фактичката трудопоглъщаемост на изпълнявани в миналото аналогични операции.

При *техническото (аналитичното) нормиране* технологичната операция се разлага на елементи и се определя времето за изпълнение на всеки елемент. Така получената норма се нарича технически обоснована или просто техническа.

Разходите на работно време за работния ден (без обедната почивка) се делят на нормирани и ненормирани. Ненормираните разходи не се включват в нормата, към тях се отнасят загубите на работно време по технически и организационни причини. Нормираните разходи на работно време се делят на: подготвително-заключително работно време T_m , оперативното време T_{op} , време за обслужване на работното място $T_{об}$, време за почивка и лични нужди T_{δ} .

Нормата на *подготвително-заключително време* T_m се изразходва за подготовка на работниците и средствата за производство за изпълнение на дадената операция и за привеждането на работното място в първоначално състояние след приключването на операцията. Тя включва времето за: получаване и запознаване с технологичната документация; получаване на необходимите материали, инструменти, приспособления; настройване на технологичната система; сваляне на технологичната екипировка; предаване на готовата продукция; предаване на инструментите, приспособленията и технологичната документация.

Подготвително-заключително време T_m се изразходва един път за цялата партида обработвани детайли и не зависи от техния брой. Определя се чрез

хронометриране или по нормативни документи [30], [31] и др.

Нормата на *операционното време* T_{om} е времето за еднократно изпълнение на технологичната операция и се състои от сумата на нормите на основното време T_o и спомагателното време T_c :

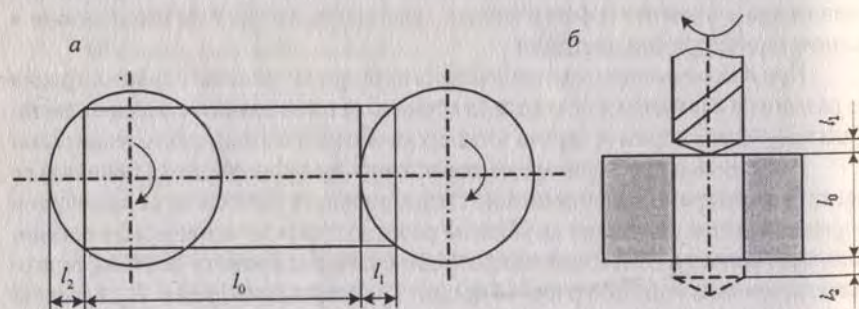
$$T_{om} = T_o + T_c \quad (21.8)$$

Основното време T_o се изразходва за постигане на непосредствената цел на дадената операция – изменение на качествено състояние на обекта на труда. Това време може да бъде машинно, машинно-ръчно, ръчно или апаратно. При обработване на детайли върху металорежещи машини основното време се определя като отношение на пътя L , изминаван от режещия инструмент, към минутното подаване s_m , и се нарича *машинно време* T_m (фиг. 21.15):

$$T_o = T_m = \frac{L \cdot i}{s_m}, \text{ min} \quad (21.9)$$

$$L = l_0 + l_1 + l_2, \text{ mm} \quad (21.10)$$

където i е броят на проходите; l_0 – дължината на обработваната повърхнина, mm; l_1 – разстоянието за връзване на инструмента, mm; l_2 – разстоянието за излизане на инструмента, mm.



Фиг.21.15. Определяне на машинното време

Нормата на *спомагателното време* T_c се изразходва за действия, създаващи възможност за извършване на основната работа, която е цел на технологичната операция, повтарящи се за всяко изделие - време за установяване и сваляне на обработвания детайл, за позициониране, за изменение на режима на работа и т.н. Определя се чрез хронометриране или по нормативни данни.

Времето за обслужване на работното място, както и времето за почивка и лични нужди, се определя като процент K от операционното време. Обикновено то е до 2% от продължителността на работната смяна.

Общото време за обработване на един детайл на дадена операция се нарича

единично време T_e и се определя по формулата

$$T_e = (T_o + T_c) \cdot (1 + K/100), \text{ min} \quad (21.11)$$

Технически обоснованата норма за време се състои от нормата на единичното време T_e и нормата на подготовително-заклучителното време T_m

$$T_k = T_e + T_m/n, \text{ min} \quad (21.12)$$

където n е броят на обработваните детайли в партидата.

Себестойността C на единица продукция се определя по формулата

$$C = \sum_1^m P_M + \sum_1^k [P_o + P_{II} - P_{III} + (1 + \frac{a_1 + a_2}{100}) \cdot P_3], \text{ лв} \quad (21.13)$$

където P_M са разходите за материали, лв; P_o – разходите за амортизация и експлоатация на оборудването, лв; P_{II} – разходите за амортизация и експлоатация на приспособленията, лв; P_{III} – разходите за амортизация и експлоатация на инструментите, лв; P_3 – разходите за работна заплата, лв; a_1 – процентът начисления за социални разходи; a_2 – процентът начисления за режийни разходи; m – количеството на различните материали; k – количеството на операциите за изработване на детайла (изделието).

Формула (21.13) в явен вид отразява влиянието на основните фактори върху себестойността на технологичния процес и дава възможност за избиране на по-икономичен вариант.

Може да се използва и по-проста формула

$$C = \sum_1^m P_M + \sum_1^k (1 + \frac{a_1 + a_3}{100}) \cdot P_3], \text{ лв} \quad (21.14)$$

където a_3 е процентът начисления за режийни разходи.

В тази формула по-голямата част от разходите не са разделени, а са скрити в коефициента a_3 .

Технологична документация. При разработване на технологични процеси за механично обработване се оформят следните основни документи:

1. Маршрутна технологична карта, съдържаща описанието на технологичния процес за изработване и контролиране на детайла.
2. Операционни технологични карти за всяка операция, включително технологичните схеми за тази операция.
3. Спецификация на технологичната екипировка.
4. Спецификация на технологичната документация.

Глава 22

ТЕХНОЛОГИЧНИ ПРОЦЕСИ ЗА МАШИНИ С ЦИФРОВО ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ

22.1. Особенности на технологичните процеси за машини с цифрово програмно управление

Област на използване на машините с ЦПУ. Ефективността на използване на машините с ЦПУ се определя от следните фактори: повишаване на точността на обработване вследствие на концентрацията на операциите; намаляване на брака по вина на работника; постоянна производителност, не зависеща от работника; повишаване на производителността за сметка на съкращаване на спомагателното, подготвително-заклучителното, понякога и машинното време; бързо и лесно пренастройване - гъвкавост на производството; съкращаване на разходите за технологична екипировка; възможност за многомашинно обслужване; възможност за пълна автоматизация на процеса; значително подобряване на условията на труда; намаляване на оборотните средства в резултат на концентрацията на операциите.

Използването на машините с ЦПУ е ограничено от: високите първоначални разходи; допълнителните значителни разходи за разработване на управляващи програми; високите експлоатационни разходи за обслужване на електронните устройства.

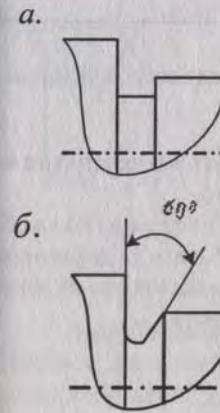
При избиране на детайлите, предназначени за обработване на машини с ЦПУ, се изхожда от сложността на детайла, възможностите за концентрация на операциите, големината на серията. На дадения етап рационалните области на използване на машините с ЦПУ са следните:

- обработване на уникални по сложност детайли в единичното производство;
- изработване на детайли с изисквания за точност IT6...IT8 и големина на партидата 15...25 броя;
- при необходимост от честа смяна на продукцията в масовото производство.

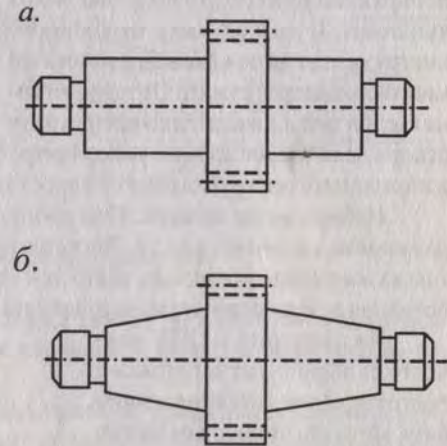
Технологичност на конструкцията. Технологичността на конструкцията на детайлите, предназначени за обработване на машини с ЦПУ, се оценява от гледна точка на възможност за осъществяване на непрекъснат автоматичен цикъл, възможност за намаляване на номенклатурата на използваните инструменти и др. Разбира се изискванията за технологичност, разгледани в гл. 1, важат и тук.

При ротационни детайли каналите за изход на инструмента (фиг.22.1а) изискват използването на профилен нож. Същата роля може да изпълнява каналът, показан на фиг.22.1б, който може да се обработи с ножа за контурно стругане.

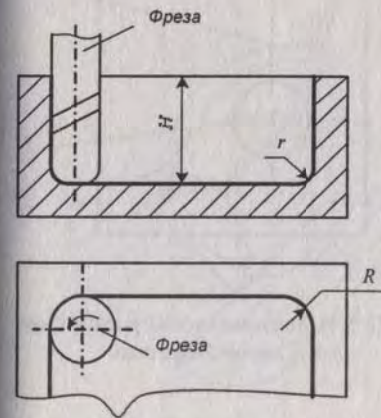
Машините с ръчно управление са наложили такива форми на ротационните детайли, при които съзнателно се отстъпва от теоретично оптималните (фиг.22.2а). За машините с ЦПУ технологични са и детайлите с теоретично оптимални форми на конструкцията (фиг.22.2б).



Фиг.22.1. Технологичност на канали



Фиг.22.2. Технологичност на сложни повърхнини



Фиг.22.3. Преход между две стени

При детайлите, обработвани върху обработващи центри, характерен елемент на конструкцията са закръгленията и отворите. Радиусите на закръгленията най-често се избират "от конструктивни съображения", което на практика означава произволно. Препоръчва се тези радиуси да са унифицирани, с което значително се намалява номенклатурата на използваните инструменти. За осигуряването на достатъчна стабилност на инструмента се препоръчва $R \geq (1/5...1/6)H$, където H е дълбочината на обработвания профил (фиг.22.3а).

Не се допуска преходът между две вътрешни повърхнини да става без закръгление, тъй като въобще няма да може да се обработи (фиг.22.4)

Радиусите на закръгление между стените и дъното на детайла трябва да са

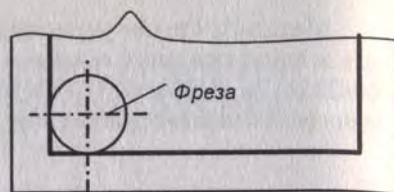
по възможност по-малки, с което се осигуряват нормални условия на рязане (фиг.22.3).

Нетехнологични са всички отвори, при които вътрешните цилиндрични повърхнини имат по-голям диаметър от външните. В тези случаи е необходимо инструментът да се въвежда в отвора по много сложна траектория. От технологична гледна точка е желателно крепежните отвори да се сведат до един типоразмер, с което се намалява номенклатурата на използваните инструменти и се опростява програмирането.

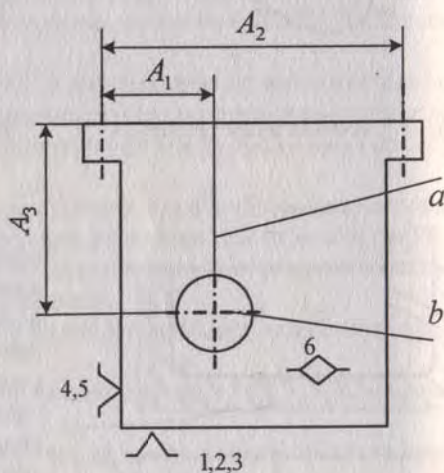
Избиране на базите. При избирането на базите се изхожда от съображенията, посочени в гл. 16. Допълнително изискване е базите да дефинират такава координатна система, която да е най-подходяща за ориентирание на обработвания детайл относно координатната система на машината.

На машините с ЦПУ най-често се обработват заготовки с подготвени чисти технологични бази, като подготовката на базите се извършва на конвенционални машини. В случаите, когато комплектът чисти технологични бази се обработва на машина с ЦПУ, размерите се получават от настроечни бази, не съвпадащи с установъчните (фиг.22.5). С това се изпълняват изискванията за избиране на базите на първата операция и се избягва използването на сложни специални приспособления. Отчитането на размерите от настроечните бази се извършва с измервателни глави, установявани във вретеното на машината и свързани със системата за управление.

Последователност на обработване на повърхнините. За ротационно-симетрични детайли последователността на обработване на повърхнините е следната: грубо и чисто струговане; обработване на специалните повърхнини; окончателно струговане. Обикновено струговането започва от челна повърхнина, след това се обработват цилиндричните и конусните. Грубото струговане на чела и къси цилиндрични повърхнини се извършва с ножа, показан

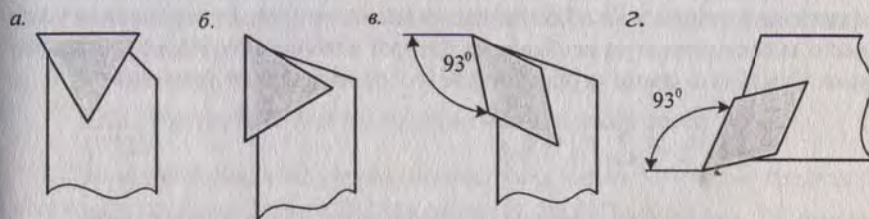


Фиг.22.4. Преход между стена и дъно



Фиг.22.5. Използване на настроечни бази
а, б – настроечни бази

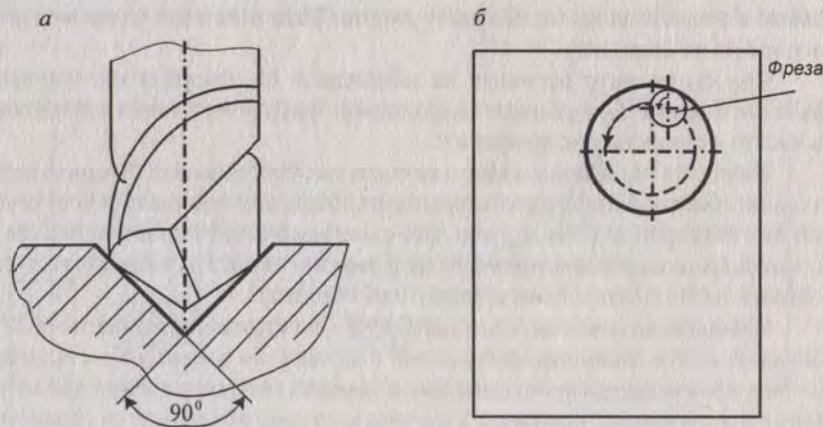
на фиг.22.6а, грубото струговане на дълги цилиндрични повърхнини – с ножа, показан на фиг.22.6б. Чистото струговане се извършва по контура с ножове за копирно обработване (фиг.22.6в,г). При допуск на размерите под 0,1 mm се оставя прибавка за довършващо струговане (калиброване).



Фиг.22.6. Ножове за стругове с ЦПУ

Обработването върху обработващи центри се извършва в последователност: фрезозане; обработване на основните отвори; обработване на крепежните отвори.

При пробиването на отвори е задължително предварително центроване с късо свредло с голяма стабилност (фиг.22.7а), като едновременно с това се обработва фаската.



Фиг.22.7. Обработване на отвори

За предварително обработване на лети отвори с малка дължина се използва контурно фрезозане (фиг.22.7б). Този метод осигурява много висока производителност, задоволителна точност, рязко съкращаване на номенклатурата на инструментите. За намаляване на необходимостта от често подна-

стройване на борщангите окончателното обработване на точни отвори се извършва чрез райберование дори за отвори с голям диаметър (до 300 mm). За осигуряване на точността на разположението на оста на отвора относно изходните бази при необходимост след фрезването и преди райберването се извършва разстъргване. Последователността на обработване на основните и на крепежните отвори, а те обикновено са много на брой, се определя от условието за осигуряване на необходимата точност и минимално време за обработване. Сумарното време за обработване τ_{Σ} се определя от уравнението:

$$\tau_{\Sigma} = \sum_1^n \tau_{o_i} + \tau_{nx}, \quad (22.1)$$

където τ_{o_i} е основното време за обработването на i -тата повърхнина; τ_{nx} - сумарното време за празен ход, определяно от уравнението

$$\tau_{nx} = \sum_1^m \tau_{c_j} + \sum_1^l \tau_{np} + \sum_1^k \tau_{z_j}, \quad (22.2)$$

τ_{c_j} - времето за смяна на инструмента; τ_{np} - времето за преместване на масата на машината; t_j - времето за завъртане на масата на машината; m - броят на смените на инструмента; l - броят на позициониранията на масата; k - броят на завъртанята на масата.

Ориентировъчно най-малко е времето за преместване на масата, най-голямо е времето за смяна на инструмента. Тези величини са приведени в паспортите на машините.

При различните варианти на обхождане на отворите се получават различни времена τ_{Σ} в резултат на различния брой премествания и завъртания на масата и смени на инструментите.

Точността на разположението на осите на обработваните отвори относно изходните бази при различните варианти на обхождане се определя чрез технологични размерни вериги, в които като съставни звена участват точността на позициониране на масата, точността на завъртане на масата, точността на установяване на инструмента във вретеното на машината.

Избиране на режещите инструменти. При струговите машини с ЦПУ се използват почти изключително ножове с механично закрепени металокерамични и минералокерамични пластини. Стремехът е да се използват само стандартни инструменти (пластини), като чрез контурно обхождане се обработват повърхнини с различна форма.

При фрезване за намаляване на трептенията се използват фрези с неравномерна стъпка на зъбите по окръжността. За повишаване на стабилността на фрезите стружкоотвеждащите канали се изработват с малка или променлива по дължина на инструмента дълбочина. За намаляване на радиалните съставни на силите на рязане, а оттам и на радиалното изместване на инструмента, за обработването на отвори се използват зенкери с главен установъчен ъгъл 90° .

Използването на нестандартни инструменти се допуска само при условие, че то е технически и икономически обосновано.

Поради високата цена на металорежещите машини с ЦПУ е необходимо максимално пълно да се използват възможностите на тези машини. Ето защо икономически изгодната трайност на инструмента е малка. За инструменти с бързосменяеми металокерамични пластини тя е 30...40 минути с тенденция за намаляване до 10...15 минути.

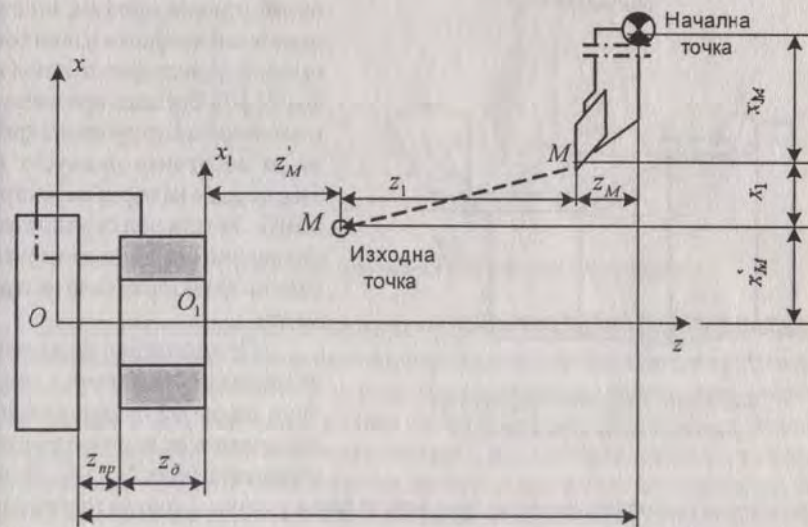
22.2. Разработване на управляващи програми

За разработването на управляващата програма е необходимо предварително да се подготви технологична и геометрична информация.

Технологичната информация включва режимите на рязане, смяната на инструментите, включването и спирането на МОТ и др.

Геометричната информация съдържа данните, необходими за описване на траекторията на инструмента или инструментите. Върху траекторията на инструмента са разположени характерни точки (фиг.22.8)

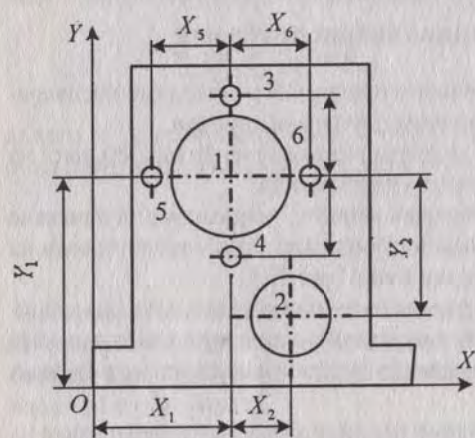
- начална (опорна) точка – определя се от пътната автоматика на машината при включване на електрозахранването и е постоянна за дадената машина. С нейна помощ се задава началото на координатната система на машината;
- изходна точка – първата точка от траекторията. След приключване на цикъла инструментът се връща в тази точка и машината се подготвя за



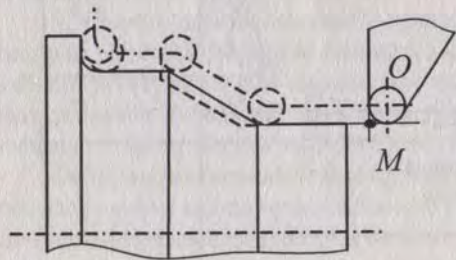
Фиг.22.8.Начална и изходна точка

обработването на следващия детайл;

- геометрични опорни точки – разделят траекторията на участъци, описвани с отделни математични уравнения (прави линии, дъги от окръжности и др.);
- технологични опорни точки – точки, в които се променя технологичната информация.



Фиг. 22.9. Задаване на геометричните опорни точки



Фиг. 22.10. Грешки от радиуса на закръгление на върха на ножа

бягването им е необходимо да се предвижда пауза в точка 1 или да се използва по-сложна траектория (фиг.22.11б). За избягване на подобна характерна грешка на профила при вътрешно контурно фрезозане (фиг.22.12а) може да се използва

Геометричните опорни точки се задават с абсолютни или относителни координати в координатната система, определена от установъчните технологични бази на обработвания детайл (фиг.22.9).

При грубо струговане, при което изискванията за точност са ниски, върхът на инструмента се приема за точка, а траекторията на движение – съвпадаща с обработвания профил.

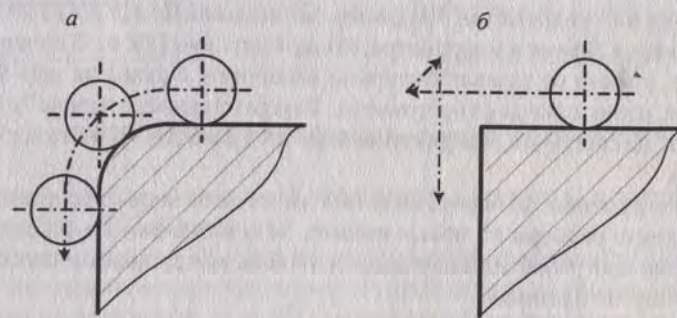
При обработването на повърхнини с образуващи, успоредни на осите X и Z , траекторията на точка M съвпада с обработвания профил, в останалите случаи лежи извън този профил (пунктирната линия на фиг.22.10). Ето защо при чистото и окончателно струговане трябва да се отчита радиусът на закръгление на върха на инструмента. За тази цел се използват специални команди за коригиране на траекторията на инструмента.

При контурно фрезозане възникват автоматично нежелани закръгления при смяната на посоката на движение на инструмента (фиг.22.11а). За избягването им е необходимо да се предвижда пауза в точка 1 или да се използва по-сложна траектория (фиг.22.11б). За избягване на подобна характерна грешка на профила при вътрешно контурно фрезозане (фиг.22.12а) може да се използва

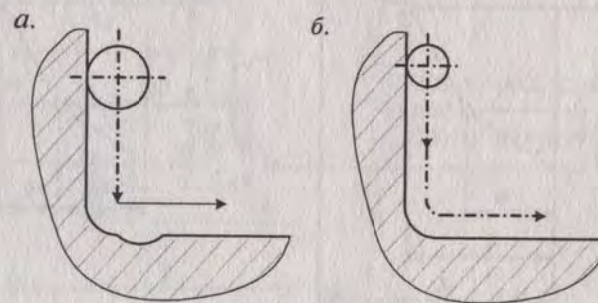
инструмент с по-малък радиус, движещ се по плавна траектория (фиг.22.12б).

След подготовката на технологичната и геометричната информация се съставя управляващата програма. Тя се състои от следните команди:

- за движение;
- за управляване на оборотите;
- за смяна на инструментите;
- допълнителни.



Фиг.22.11. Грешки при външно контурно фрезозане



Фиг.22.12. Грешки при вътрешно контурно фрезозане

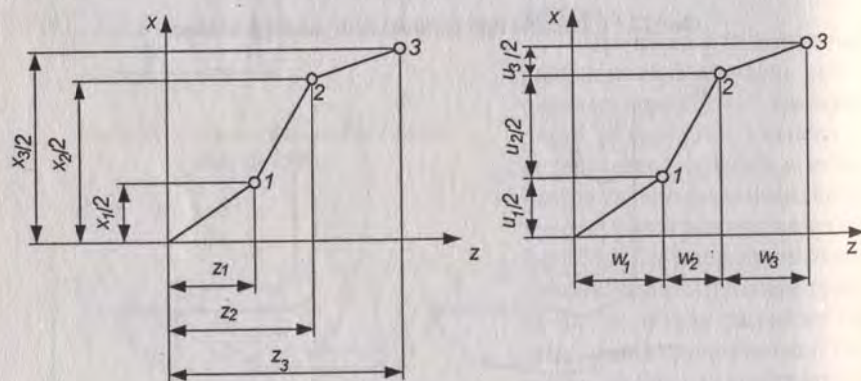
Командите за движение определят преместванията на изпълнителните органи на машината и са свързани непосредствено с координатната система на машината. В машините с ЦПУ е приета дясноориентирана координатна система, оста Z на която задължително съвпада с оста на въртене на вретеното. За положителна посока на оста Z се приема посоката, при която инструментът се отдалечава от заготовката. Оста X се разполага по възможност хоризонтално, при това за положителна се приема посоката надясно, ако се гледа от положителната посока на оста Z . Когато машината има възможност да извършва повече движения, се въвеждат допълнителни координатни системи.

Програмата се състои от изречения, а всяко изречение съдържа една или повече команди. Всяка команда представлява адрес (параметър), следван от числова стойност със или без знак.

При командите за движение за стругови машини адресите са X, Z при абсолютно програмиране (фиг.22.13а) и U, W при относително програмиране (фиг.22.13б). Освен това се използват и адресите I, K и P при кръгова интерполация, обработване на фаски и др.

Числовата част винаги представлява координатно разстояние, записвано в милиметри или микрометри. Например, за системата ФАНУК 5Т (ЗИТ 500Т) разстоянията се задават в микрометри, за системата ФАНУК 6Т – в милиметри. Точността, с която се задават числовите стойности, е равна на най-малкото разстояние, което може да се програмира. Това разстояние се нарича “команден инкремент” на системата. Например за ФАНУК 5Т и ФАНУК 6Т тази стойност е 0,001 mm.

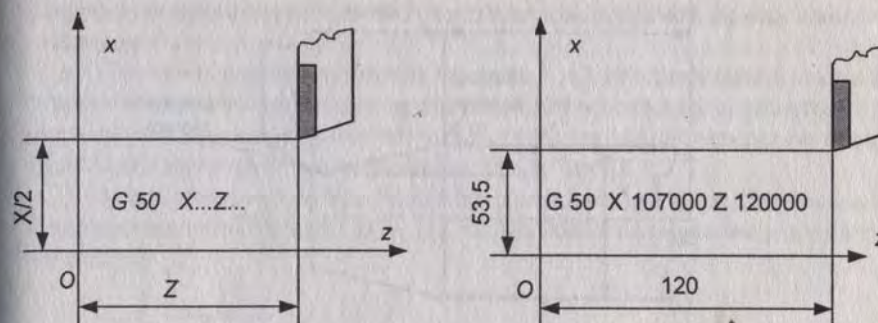
При струговане по посока на оста X може да се задават радиалните или диаметралните размери на повърхнините. Установяването на радиусно или диаметрално програмиране става посредством параметри, въведени от пулта за управление на машината.



Фиг.22.13. Абсолютно и относително програмиране

Ще разгледаме най-използваните команди и програмирането за стругови машини с ЦПУ.

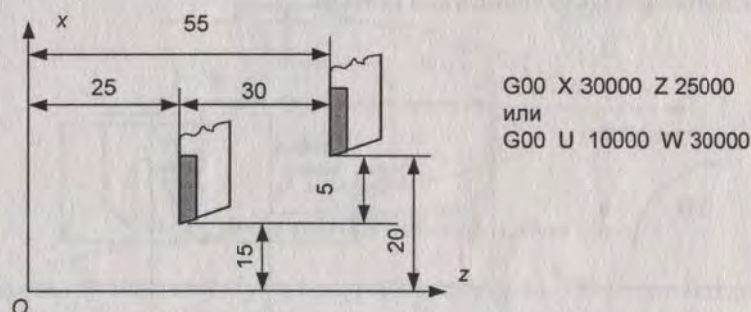
Въвеждане на координатно начало G50. За програмиране на движенията е необходимо предварително да се зададе началото на координатната система, в която ще се извърши това програмиране. Това става с командата G 50 и адресите X и Z , следвани от съответни числови стойности (фиг. 22.14). Задават се задължително и двата адреса. Командата може да се зададе на всяко място в програмата и действа до задаването на нова команда G 50.



Фиг.22.14. Команда G50 (задаване на координатно начало)

Командите за движение се обозначават с буквата G и двуцифров код, например G 01, G 02, 32 и т.н.

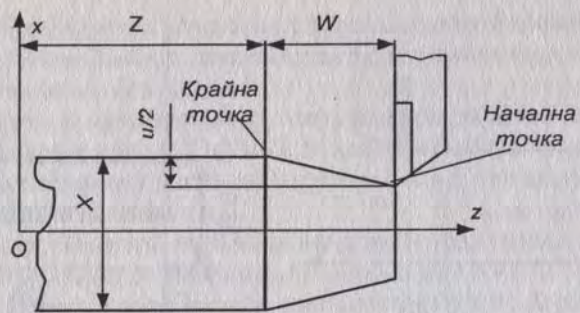
Позициониране G00. Изпълнителният орган на машината (супортът) се премества с постоянна за всяка ос скорост (на бърз ход) до точката с координати X и Z или на разстояние U и W . Преместването по двете оси е независимо (фиг.22.15).



Фиг.22.15. Команда G00 (позициониране)

Линейна интерполация G01. Задава се движението на инструмента по права линия със скорост, определена от кода F (фиг.22.16). Ако е зададен предварително код G99, скоростта на подаването се задава в милиметри на оборот с точност до втория знак. При зададен предварително код G98 се задава минутно подаване в милиметри, също с точност до втория знак. При движение едновременно по двете оси се задава тангенциалното подаване.

Кръгова интерполация G02 (G03). Режещият инструмент се движи по дъга от окръжност. При командата G02 посоката на движение е по часовниковата стрелка, при команда G03 – обратно на часовниковата стрелка (фиг.22.17).



G01 X(U)..... Z(W)....F....

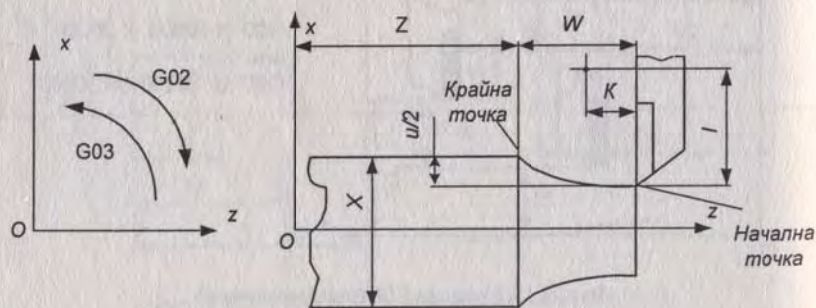
Фиг.22.16. Команда G01 (линейна интерполация)

Системата ФАНУК 5Т с една команда G02 (G03) извършва интерполация само в един квадрант, системата ФАНУК 6Т – по цялата окръжност.

Структурата на командата за кръгова интерполация е следната:

G02(G03) X(U)... Z(W)... I... K... F...

В адресите I и K се записват разстоянията до началната точка на окръжността, взети със знак от точката към центъра.



Фиг.22.17. Команда G02 (G03) (кръгова интерполация)

Единичен резбови преход G32. Структурата на тази команда е следната :
G32 X(U)... Z(W)...F(E)...

Командата G32 се изпълнява като команда за линейна интерполация. Адресите F и E служат за задаване на стъпката на резбата. В адреса F стъпката се задава в стотни от милиметъра, в адреса E – с двойна точност, т.е. в десетохилядни от милиметъра. Адресът E се използва тогава, когато в стъпката има значещи

цифри в хилядни и десетохилядни от милиметъра, например, при нарязване на цолови резби.

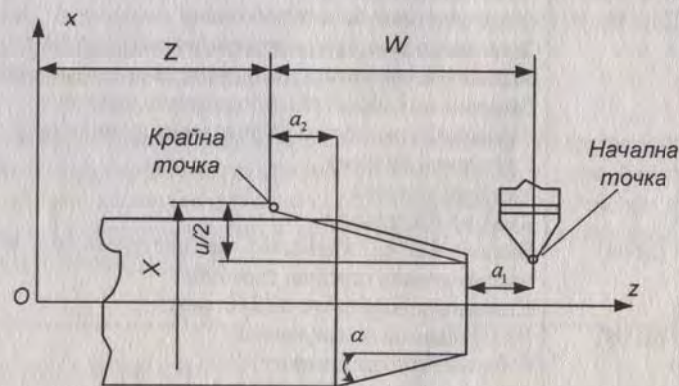
При едновременно движение по осите X и Z програмираната стъпка се изпълнява по оста с по-голямо преместване. Това означава, че ако ъгълът на наклона на конуса α е по-малък от 45° , стъпката ще се изпълни по оста Z (фиг.22.18), ако ъгълът α е по-голям от 45° – по оста X.

За осигуряване на точна стъпка по цялата дължина на резбата трябва да се предвиждат разстоянията a_1 и a_2 за ускоряване и спиране на движението на супорта

$$a_1 \geq (L \cdot n) / 1000;$$

$$a_2 \geq 3a_1,$$

където L е стъпката на резбата; n – честотата на въртене на вретеното.



Фиг.22.18. Команда G32 (единичен резбови преход)

За нарязване на цилиндрична резба в командата G32 се задава само параметърът Z(W), за нарязване на челна резба – само параметърът X(U).

Останалите команди са приведени в таблица 22.1. Подробна информация за командите и програмирането ще намерите в [20].

Всяка програма се състои от четири части :

- глава на програмата;
- същинска част;
- край на програмата;
- подпрограми.

С командите от главата на програмата супортът се премества в избраната от програмиста изходна точка за започване на обработването. Тя се изпълнява само при първоначалното пускане на програмата. Главата на програмата задължително включва командата G28 – отвеждане на супорта в точката, определена

Таблица 22.1

Код	Наименование
G 00	Позициониране
G 01	Линейна интерполация
G 02 (C 03)	Кръгова интерполация
G 04	Спиране за определено време
G 28	Преместване на супорта в начална точка
G 31	Линейно движение с прекъсване по външен сигнал
G 32	Нарязване на резба с постоянна стъпка
G 34	Нарязване на резба с линейно изменяща се стъпка
G 40... C 42	Радиусна корекция
G 50	Въвеждане на координатно начало.
	Ограничаване на честотата на въртене на вретеното
G 70... C 76	Многкратно повтарящи се цикли за обработване
G 77... C 94	Фиксирани цикли за обработване
G 96	Задаване на постоянна скорост на рязане, m/min
G 97	Задаване на честотата на въртене на вретеното, min ⁻¹
G 98	Задаване на скоростта на подаването, mm/min
G 99	Задаване на скоростта на подаването, mm/оборот
M 00	Програмно спиране
M 01	Условно спиране
M 02	Край на програмата
M 03 (M 04)	Включване на въртенето на вретеното по и срещу часовниковата стрелка, съответно
M 05	Спиране на въртенето на вретеното
M 07 (M 08)	Включване на охлаждането
M 09	Спиране на охлаждането
M 98	Обръщане към подпрограма
M 99	Край на подпрограмата и връщане към главната програма
T	Смяна на инструмента
F	Подаване
S	Честота на въртене на вретеното

от пътната автоматика на машината. Освен това тя може да включва командите G00 и G50:

N 001 G28				
N 002 G00	U 8 000	W 7 000		- глава на програмата;
N 003 G50	X 1 000	Z 12 000		
N 004.....				- начало на същинската част на програмата.

Краят на програмата е необходим за връщане на режещия инструмент отново в изходната точка, откъдето ще започне обработването на следващата заготовка, без да се изпълнява главата на програмата:

N... G 50 X... Z... - координатно начало на първия инструмент в програмата

N... G 00 X... Z... - връщане в изходна точка

N... T... 00 - нулиране на корекцията

N... M 02 - край на програмата

N... M 92 P 004 - автоматично връщане в началото на същинската част на програмата, в случая - на ред № 004.

В управляващите програми за машините с ЦПУ могат да се използват подпрограми така, както те се използват в програмните езици. Обръщението към подпрограма се извършва с команда от главната програма:

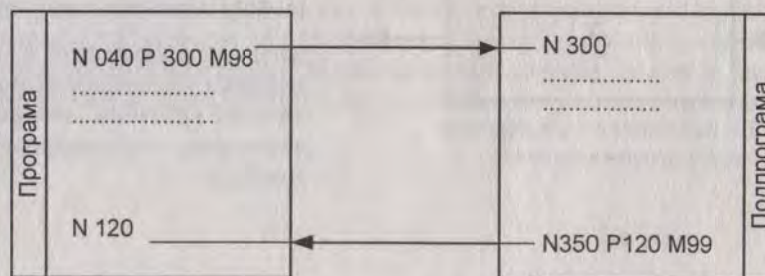
N... P... L... M98

В тази команда *P* задава номера на изречението, с което започва подпрограмата; *L* посочва, колко пъти да се изпълни подпрограмата; *M98* указва обръщение от главната програма към подпрограма.

Всяка подпрограма завършва с изречението:

№... P... M99

В това изречение *P* задава номера на изречението от главната програма, в която се връща управлението при излизане от подпрограмата. Ако този параметър отсъства, управлението се връща на изречението на главната програма, следващо след обръщението към подпрограмата. *M 99* указва връщане към главната програма (фиг.22.19).



Фиг.22.19. Програмиране с подпрограми

При използването на повече от един инструмент е необходимо инструментите да се сменят автоматично в процеса на изпълнение на програмата. Смяната на инструмента и корекцията (отместването на траекторията) на движение се извършва с командата *T*. Тази команда има следната структура

Т а в,

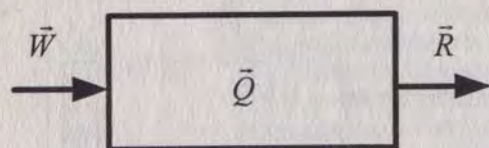
където a е номерът на позицията на инструмента; b - номерът на корекцията.

Адресите след T са двуразрядни или четириразрядни, в зависимост от броя на автоматично сменяните инструменти и възможностите на ЦПУ за внасяне на корекции. Например, системата ФАНУК 5T има възможност за въвеждане на 16 двойки корекции със стойности от 0 до $\pm 99,999$ mm. В регистър с номер 00 стойностите на корекциите са винаги нули и не могат да се изменят.

При изпълнение на T -командата се извършва четене на стойностите на корекциите от съответния регистър и супортът се отмества в съответната посока. Отместването се извършва на бърз или на работен ход в зависимост от последната зададена G -команда.

Глава 23 УПРАВЛЕНИЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИТЕ ПРОЦЕСИ

При проектиране на технологични процеси за механично обработване параметрите \bar{Q} на технологичната система (стабилност, геометрична точност,



Фиг.23.1. Избиране на параметрите на технологичната система

режими на рязане и др.) се избират така, че да се осигури необходимото качество, определено от показателите \bar{R} , при достигане на определени икономически критерии, например, минимална себестойност C (фиг.23.1):

$$\bar{\omega}_R \leq \bar{T}_R$$

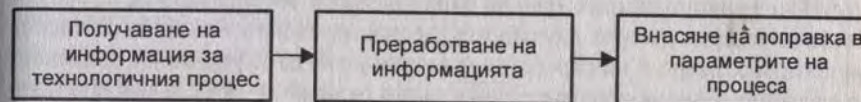
$$C \rightarrow \min \quad (23.1)$$

където \bar{T}_R и $\bar{\omega}_R$ са, съответно, допусковите полета и полетата на разсейване на показателите на качество.

Но тъй като параметрите \bar{W} на заготовката, а и част от параметрите на технологичната система \bar{Q} се изменят случайно, то при проектирането на технологичните процеси се изхожда от най-лошия случай. Например, при определяне на дълбочината на рязане се изхожда от възможно най-голямата прибавка

за обработване. За всички останали заготовки с по-малки прибавки възможностите на технологичната система няма да се използват пълноценно. Следователно, за осигуряване на зависимостта (23.1) е необходимо да се управлява ходът на технологичния процес.

Всеки процес на управление е свързан с получаване на информация за обекта на управление (в дадения случай за технологичния процес), с преработването на тази информация по определен закон и внасянето на поправка в хода на процеса (фиг.23.2).



Фиг. 23.2. Управление на технологичните процеси

За да управляваме технологичните процеси при осигуряване на точността на линейните размери трябва да получаваме информация за получавания при обработването на i -тия детайл технологичния размер. Информацията за този размер може да бъде получена:

- на входа на технологичния процес (фиг.23.3а);
- на изхода на технологичния процес (фиг.23.3б);
- непосредствено при изпълнението на технологичния процес (фиг.23.3в).

На входа на технологичния процес може да се получи информация за заготовката: геометрична форма, размери, свойства на материала, температура. Всички тези фактори в процеса на обработване се проявяват като случайни и, естествено, предизвикват случайни грешки. По получената информация може така да се изменят параметрите на технологичната система, например, надлъжното подаване S_o при струговане, че да се поддържа размерът на динамично настройване $A_{1d} = const$.



Фиг. 23.3. Методи за управление

Тъй като за случайно-функционални грешки, а и за част от случайните, не свързани със заготовката, не се получава информация, не може да се отчете тяхното влияние при управлението на технологичния процес. На практика управлението на технологичните процеси по информацията за заготовката се използва много рядко.

На изхода на технологичния процес може да се получи пълна информация за размера A_p , по която да се съди за влиянието както на случайните, така и на случайно-функционалните грешки върху този размер. По тази информация обаче може с известна степен на точност да се определи само влиянието на случайно-функционалните грешки върху размера на следващата заготовка. Каква ще бъде появата на случайните грешки, не се знае. Ето защо по информацията за размера A_i на обработения детайл може да се управлява влиянието на случайно-функционалните грешки върху размера A_{i+1} на следващата заготовка. Управлението се извършва чрез поднастройване на технологичната система (вж. гл.20). При това измерването, както и преработването на информацията и поднастройването, може да бъде автоматично или ръчно. Управлението на технологичните процеси по информация, получена на изхода му, е една от формите на активния контрол.

Най-добре е да се получава информация за размера A_i непосредствено при формирането на този размер и по получената информация така да се изменят параметрите на технологичната система, че да се осигурява зависимостта (23.1). В този случай управление на технологичния процес се нарича *адаптивно* [3]. Ще разгледаме по-подробно този случай.

От уравнение (17.7) се вижда, че в процеса на обработване технологичният размер A_i може да се изменя чрез изменение на размера на статично настройване A_{ic} или размера на динамично настройване A_{id} . В съответствие с това има два вида системи за адаптивно управление - внасящи поправка в размера на динамично настройване и внасящи поправка в размера на статично настройване.

На фиг.23.4 е показана система за адаптивно управление при струговане, внасяща поправка в размера A_D . Информацията y за размера A_i от датчика D във вид на електрически сигнал u постъпва на сравняващото устройство $СУ$. На другия вход на сравняващото устройство постъпва сигнал u_2 от задаващото устройство $ЗУ$. Разликата Δu на двата сигнала постъпва на входа на усилвателя, а усиленият сигнал Δu_1 - на входа на изпълнителния механизъм $ИМ$. Изпълнителният механизъм изменя подаването s пропорционално на сигнала u .

От гледна точка на теорията на автоматичното регулиране тази система е стабилизираща. Тя се стреми чрез изменение на регулиращата (управляващата) величина да поддържа постоянна управляваната величина. В конкретния случай управляващата величина е подаването s . Управляваната величина би следвало да бъде технологичния размер A_i или поне размерът на динамичното настройване A_{id} . Нито единият, нито другият размер могат да се измерват

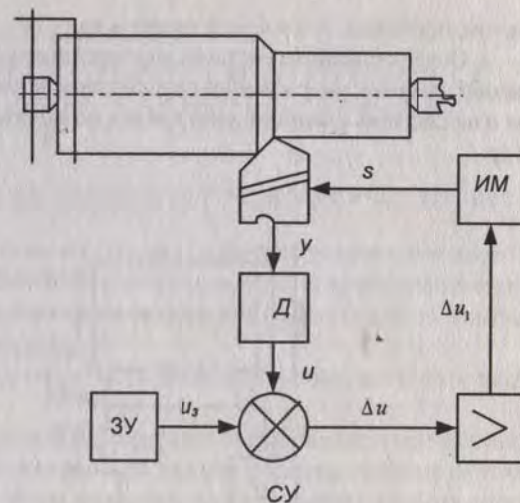
непосредствено при струговане. Затова в системите за адаптивно управление се измерват съставните на силите на рязане, еластичните деформации на елементите и възлите на системата МПИД, въртящият момент, мощността на главния електродвигател, фазовият ток на главния електродвигател. Всички тези величини са корелационно свързани с размера на динамично настройване A_{id} , по-точно с частта му, предизвикана от еластичните деформации на системата МПИД. За измерването на тези величини се използват различни динамометрични устройства. Най-удобни за измерване са фазовият ток на главния електродвигател (с токов трансформатор) и мощността на този двигател.

Като управляваща величина се избира подаването s , тъй като то оказва най-съществено влияние на силите на рязане, а, следователно, и на A_{id} . За изменение на управляващата величина - подаването - е необходимо задвижването на подаването да бъде независимо от главното задвижване и да се реализира с управляем постоянен ток електродвигател. Най-лесно това се осъществява в машините с ЦПУ.

Системите за адаптивно управление чрез внасяне на поправка в размера на статичното настройване са следящи (копиращи) системи. В процеса на работа те поддържат регулиращата величина, равна на зададената. При това стойността на зададената величина може да постъпва и от програмно устройство. За изменение на размера на статично настройване в процеса на обработване е необходимо машината да има механизъм за малки премествания.

На фиг.23.5 е показана такава система. Сигналят u от датчика през усилвателя постъпва на входа на сравняващото устройство $СУ$. На входа на $СУ$ постъпва и сигналят u_2 от задаващото устройство $ЗУ$, а също така сигналят за обратна връзка u_p , пропорционален на изменението на регулиращата величина A_c . В процеса на работа системата поддържа регулиращата величина пропорционална на сумата на двата сигнала u и u_2 .

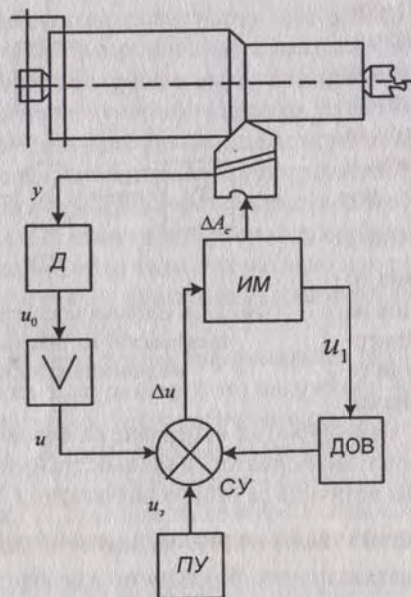
В настояще време са разработени системи за адаптивно управление практически за всички видове металорежещи машини - стругови, фрезови, шлифо-



Фиг.23.4. Система за адаптивно управление чрез внасяне на поправка в размера на динамично настройване

въчни, пробивни, зъбообработващи и др.

Освен описаните системи, управляващи точността и производителността на обработване, разработени са и системи за управление на интензивността на износване на режещия инструмент, за оптимизиране на процеса на рязане и др.



Фиг.23.5. Система за адаптивно управление чрез внасяне на поправка в размера на статично настройване

Глава 24

ПРОЕКТИРАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИ ПРОЦЕСИ ЗА ИЗРАБОТВАНЕ НА КОРПУСНИ ДЕТАЙЛИ

24.1. Проектиране на маршрутен технологичен процес

Корпусните детайли в повечето случаи са базови детайли, към които се присъединяват отделните възли и детайли. Те осигуряват точността на взаимното разположение на детайлите и механизмите на машините както в статично състояние, така и в процеса на работа.

По предназначение и конструктивна форма корпусните детайли се разделят на няколко групи:

- Корпусни детайли с кутиевидна форма – паралелепипед или цилиндър с тънки стени, габаритни размери от един порядък, наличие на точни отвори, служещи за опори на валове. Ако в процеса на работа се преместват, имат направляващи.
- Детайли с вътрешни цилиндрични повърхнини – блокове на двигатели с вътрешно горене и компресори, корпуси на електродвигатели и др.
- Детайли със сложна пространствена форма – корпуси на турбини, центробежни помпи и др.
- Шейни, маси, плъзгачи, планшайби – детайли, които в процеса на работа извършват постъпателно или въртливо движение.
- Плочи, капаци, конзоли, стойки и др.

Заготовките за корпусни детайли най-често са отливки от чугун и алуминий, по-рядко – отливки от стомани и сплави на цветни метали. Срещат се също така шамповани и заварени заготовки.

В зависимост от изискванията за точност корпусните детайли условно се разделят на три групи (таблица 24.1).

Таблица 24.1

Категория на точност	Точност на отклоненията на формата и взаимното разположение на основните повърхнини, mm	Запазване на точността при зададени условия, %
1	$\geq 0,050$	$\geq 0,005$
2	$0,002 \dots 0,050$	$0,0002 \dots 0,0050$
3	$\leq 0,002$	$\leq 0,0002$

При структуриране на технологичния процес на етапи се изхожда от техническите изисквания към детайлите, вида и материала на заготовката.

Например, в уредостроенето като заготовки за корпусни детайли често се

използват отливки от стомана, магнезиеви и алуминиеви сплави. За тези случаи при проектиране на технологичния процес се изхожда от препоръките, показани в табл. 24.2, в съответствие с изискванията за точност към обработваните детайли от табл. 24.1.

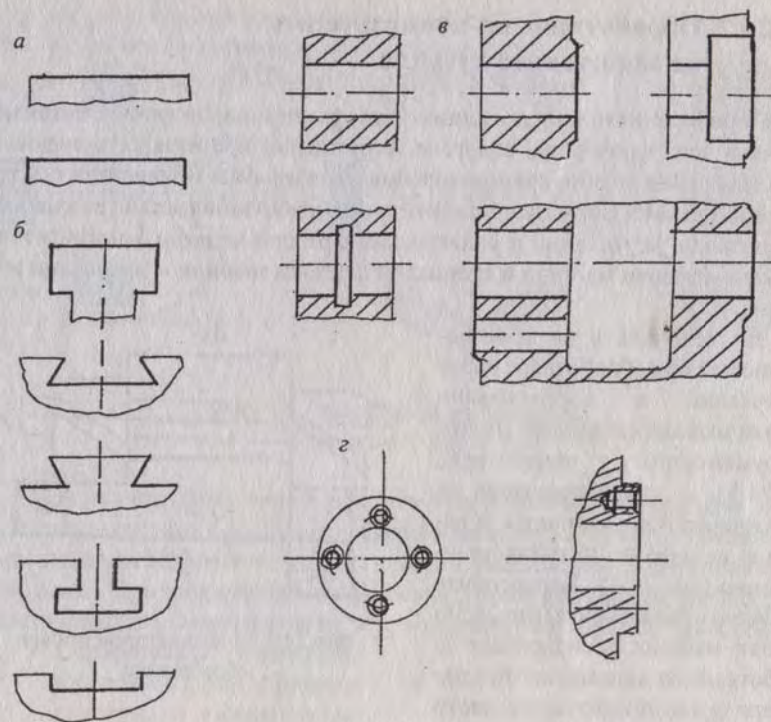
Типичните технологични комплекти повърхнини в корпусните детайли са съчетания от равнинни повърхнини (фиг.24.1а), основни отвори (фиг.24.1б), основни отвори и равнинни повърхнини (фиг.24.1в), крепежни отвори (фиг.24.1г).

При разработване на технологични процеси за обработване на корпусни детайли в повечето случаи има възможност да се спазва принципът на постоянство на базите. Най-често срещаните варианти на базиране на операциите след първата са по три равнини (фиг.24.2а), по равнина и два отвора (фиг.24.2б), по две равнини и отвор (фиг.24.2в). Следователно, на първа операция трябва да се обработят технологичните комплекти, показани на фиг.24.2.

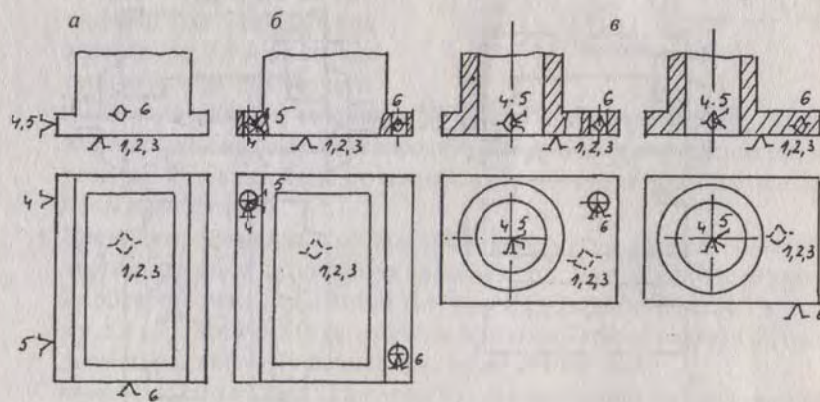
Таблица 24.2

Етапи на технологичния процес съгласно табл.2	Отливки от стомана			Отливки от алуминиеви и магнезиеви сплави		
	Категория на точност					
	1	2	3	1	2	3
0	+	+	+	+	+	+
1	+	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	+	+
3	-	+	+	-	+	+
4	-	+	+	-	+	+
5	-	+	+	-	-	+
6	+	+	+	+	-	+
7	+	+	+	+	+	+
8	+	+	+	+	+	+
9	+	+	+	+	+	+
10	-	+	+	-	+	+
11	-	-	-	-	-	-
12	-	-	+	-	-	+

При избирането на базите за първата операция преди всичко се изхожда от условието за осигуряване на равномерна прибавка за основните отвори или направляващите.



Фиг.24.1. Технологични комплекти

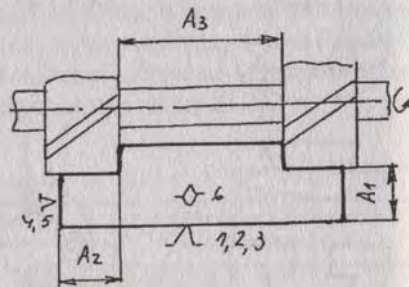


Фиг.24.2. Технологични бази за операциите след първата

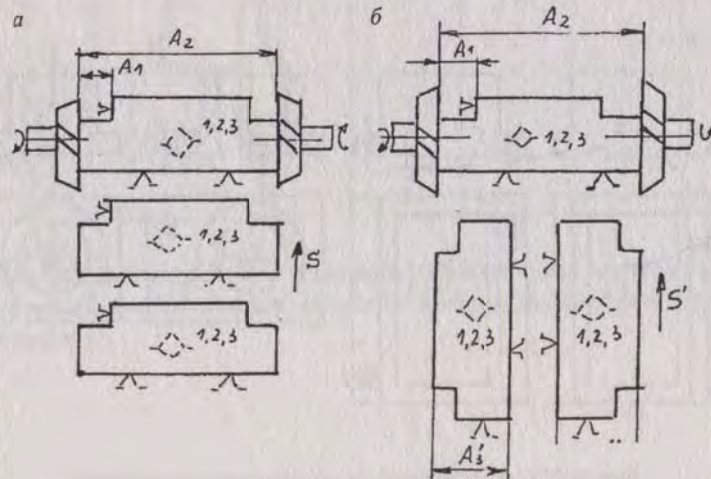
24.2. Обработване на повърхнините на корпусните детайли

Обработването на равнинните повърхнини на корпусните детайли се извършва чрез фрезование, стъргане, струговане, протегляне, шлифование, притриване. Най-голямо приложение има *фрезването*. В зависимост от типа на производството, формата и габаритите на обработвания детайл се използват хоризонтални, вертикални и универсални фрезови машини, многовретенни надлъжно-фрезови машини и специални фрезови машини - каруселни и барабанни.

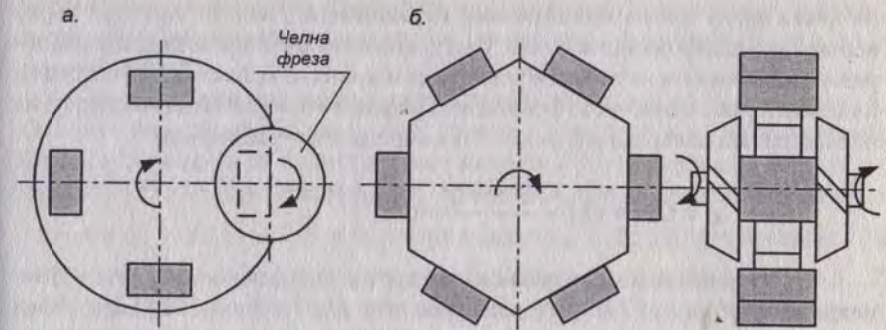
За увеличаване на производителността при обработване върху универсални и хоризонтални фрезови машини се прилага многоинструментално обработване (фиг.24.3), а при използване на надлъжно-фрезови машини - обработване на няколко детайла едновременно (фиг.24.4). Каруселните (фиг.24.5а) и барабанните (фиг.24.5б) фрезови машини се използват за обработване на детайли със средни размери в серийното и масовото производство в непрекъснат цикъл на работа.



Фиг.24.3. Многоинструментално обработване



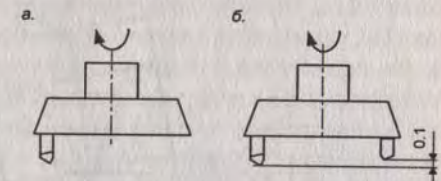
Фиг.24.4. Едновременно обработване на няколко детайла



Фиг.24.5. Специални фрезови машини
а - каруселна; б - барабанна

При челното фрезование в резултат на еластичните деформации на технологичната система се получават пресичащи се резки - следи от задните (по направление на подаването) зъби на фрезата, надраскващи обработената вече повърхнина. При това грапавостта на повърхнината се влошава, трайността на фрезата намалява. За избягване на този недостатък се използват три схеми:

- Обработването се извършва с еднозъба фреза с режеща пластина от минералокерамика, диамант или композит (фиг.24.6а).
- Зъбите на фрезата се настройват така, че един от тях изпъква на 0,1 mm по височина (фиг.24.6б). По този начин едновременно се изпълняват два прехода - първият от (z-1) зъба, вторият от зъба с по-голяма височина. Широчината на режещия ръб на този зъб трябва да бъде не по-малка от удвоеното подаване за един оборот на фрезата.
- Вретеното на машината се накланя на малък ъгъл около (1/1000) във вертикална равнина по посока на подаването. При това обаче формата на обработваната повърхнина ще бъде вдлъбната (вж.фиг.24.7 и формула 24.1). Тази схема се използва при обработване с фрези с голям диаметър и допуск на формата, по-голям от 0.04 mm.



Фиг.24.6. Чисто фрезование

Стъргането се използва в единичното и дребносериеното производство за обработване на дълги тесни повърхнини. Струговането се използва за обработване на равнинни повърхнини на ротационно-симетрични корпусни детайли.

Шлифването се използва основно като метод за окончателно обработване на равнинните повърхнини. Обработването се извършва с периферията

на диска върху плоско-шлифовъчни машини или с челото на диска върху вертикално-шлифовъчни машини. При шлифоване с челото на диска за подобряване на условията на работа вретеното се накланя на малък ъгъл по посока на подаването, както при чисто фрезозане. Грешката на формата (вдлъбнатост) на обработваната повърхнина (фиг.24.7) се определя от уравнението

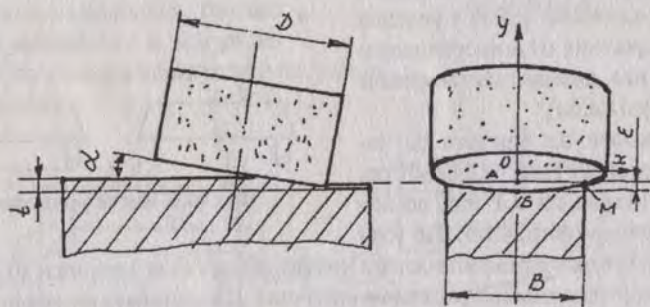
$$\Delta = ON - OA = \frac{D \cdot \sin \alpha}{2} - OA.$$

Проекцията на челото на диска във вертикална равнина е елипса с уравнение $(x^2/a^2) + (y^2/b^2) = 1$ и полуоси $a = D/2$ и $b = (d/2) \cdot \sin \alpha$. След заместване на координатите на точката $M(B/2; -OA)$ в това уравнение ще получим

$$OA = \frac{\sin \alpha}{2} \sqrt{D^2 - B^2}.$$

Следователно,

$$\Delta = \frac{\sin \alpha}{2} (D - \sqrt{D^2 - B^2}). \quad (24.1)$$



Фиг.24.7. Грешка във формата на шлифованата повърхнина

Протеглянето на равнинни повърхнини на корпусни детайли се използва в масовото и едросерийното производство поради ограниченията, налагани от сложния и скъп инструмент. Този метод се използва широко в двигателостроенето. Особено ефективно е протеглянето на съчетания от равнинни повърхнини.

Обработването на основните отвори е отговорен и трудоемък етап от технологичния процес, при който се осигуряват обикновено най-високите изисквания за точност на корпусните детайли. Използват се методите пробиване, зенкерование, райберование, разстъргване, контурно фрезозане, шлифоване, хонинговане, притриване, пластично деформиране. В единичното и дреб-

носерийното производство обработването се извършва на универсални машини, в едросерийното и масовото – на специални машини, агрегатни машини и автоматични линии.

Пробиването се използва за получаване на отвори в плътен материал. Отвори с диаметър над 25 mm се получават за 2-3 прехода (пробиване и разпробиване). Точността на диаметралните размери е 11-12 степен, точността на формата 12...40 μm , грапавост $R_a = 12,5...6,3 \mu\text{m}$ за отвори с диаметър до 15 mm и $R_a = 12,5...2,5 \mu\text{m}$ за отвори с диаметър до 25 mm. Отклонението на оста на отвора е 1...4 μm на 1 mm дължина без водене на инструмента и 0,5...2 μm на 1 mm дължина при водене на инструмента с кондукторна втулка (вж.фиг.24.10).

Зенкерването се използва за грубо и получисто обработване на отвори, получени чрез пробиване, леене, шамповане и за чисто обработване на отвори с ниски изисквания за точност. Зенкер с механично закрепени или запоени твърдосплавни пластини за един проход може да свали прибавка 2...4 mm на страна. Поради високата си производителност зенкерването се използва широко, особено в агрегатните машини и автоматичните линии. Грубото зенкерование осигурява точност на диаметралните размери 11...12 степен, точност на формата 30...50 μm , чистото – точност на диаметралните размери 10 степен, точност на формата 15...20 μm , грапавост $R_a = 2,5...5 \mu\text{m}$. По сравнение с пробиването зенкерването осигурява значително по-малко (до 5-6 пъти) отклонение на оста на отвора – от 4 до 40 μm за отвори с диаметър до 300 mm.

Разстъргването се използва за грубо, получисто и окончателно обработване на основни отвори. Предимството на разстъргването е в простотата и универсалността на инструмента, благодарение на което един инструмент може да се използва за обработване на отвори с различен диаметър. Това предимство е особено важно в единичното и дребносерийното производство. Грубото разстъргване осигурява точност на диаметралните размери 11...12 степен, чистото – 9...10 степен. Точността на формата при чистото разстъргване е до 12 μm при отвори с диаметър до 120 mm, грапавостта – $R_a = 2,5...5 \mu\text{m}$. При окончателно разстъргване на отвори с инструменти от свръхтвърди материали (диаманти, композит) може да се постигне точност на диаметралните размери 5...6 степен, грапавост $R_a = 0,32...1,25 \mu\text{m}$.

Разстъргването по-добре от който и да е друг метод осигурява праволинейността на осите на обработваните отвори и точността на разположението им относно изходните бази. При разстъргване с инструменти от свръхтвърди материали тази точност е 0,6...1,6 μm за отвори с диаметър до 10 mm и 2,5...6 μm за отвори с диаметър до 100 mm.

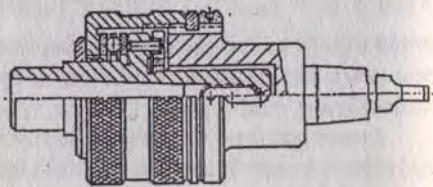
Райберването е един от основните методи за чисто и окончателно обработване на отвори и осигурява 6...9 степен на точност на диаметралните размери и грапавост $R_a = 0,63...1,25 \mu\text{m}$. Използва се след пробиване (за

отвори с малък диаметър) и след зенкерване (за отвори с диаметър над 12 mm). В процеса на райбероване действат големи радиални и малки осеви сили, в резултат на което инструментът се самоцентрира по оста на предварително обработения отвор. Поради това грешката в разположението на оста на отвора при райбероване не се намалява, а се увеличава до 10%. Ето защо при райбероването е необходимо инструментът да се установява в плаващ патронник (фиг.24.8), а точността на разположение на оста на отвора до изходните бази да се осигури чрез други методи.

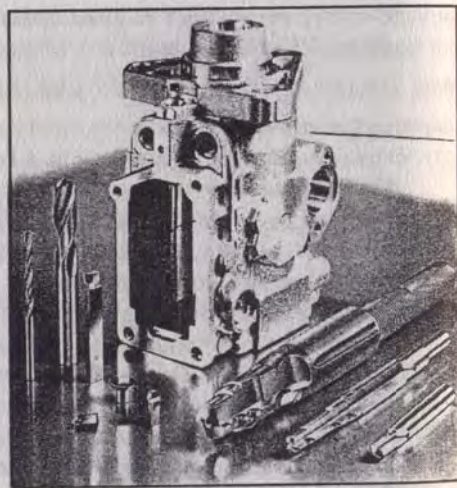
Едновременно с обработване на основните отвори се обработват перпендикулярните към тях челни повърхнини чрез разстъргване, зенкерване или фрезование. Отклонението от перпендикулярност на челото към оста на отвора е $(0.01 \dots 0.03)/100$ при зенкерване и $(0.004 \dots 0.013)/100$ при разстъргване.

В серийното и масовото производство за повишаване на производителността чрез паралелна концентрация на преходите се използват комбинирани инструменти. Тези инструменти позволяват за едно работно преместване да се извърши грубо, получисто и чисто обработване на гладки проходни отвори или на няколко цилиндрични и челни повърхнини на стъпални отвори. При това в един инструмент могат да се обединят различни методи на обработване – пробиване, цилиндрично и челно зенкерване, цилиндрично и челно разстъргване, райбероване. Комбинирани инструменти се използват широко в агрегатните машини и автоматичните линии. На фиг.24.9 са показани комбинирани инструменти за обработване на отвори в корпусни детайли на фирмата GUNRING, специализирана в производство на инструменти за автомобилната промишленост.

Шлифоването се използва основно за окончателно и довършващо



Фиг.24.8. Плаващ патронник



Фиг.24.9. Комбинирани инструменти

обработване на отворите на ротационно-несиметрични корпусни детайли с големи диаметри (над 150 mm), но има планетарно-шлифовъчни машини за обработване на отвори с по-малък диаметър (над 10 mm). Планетарното шлифоване осигурява 6-7 степен на точност на диаметралните размери, грешка на формата до $4 \mu\text{m}$, грапавост $R_a = 0,16 \dots 0,32$, точност на разстоянията от осите на отворите до изходните бази до 0,01 mm. Недостатък на този метод е ниската производителност при конвенционалните машини. Основните отвори на ротационно-симетрични корпусни детайли могат да се шлифват на кръглошлифовъчни машини.

Хонинговането се използва за довършващо обработване при високи изисквания за точност на размерите, формата и на грапавостта на повърхнините на отворите. Осигурява 6 степен на точност на диаметралните размери, точност на формата (овалност и конусност) $0,003 \dots 0,004 \text{ mm}$ за отвори с диаметър до 250 mm, грапавост $R_a = 0,04 \dots 0,16 \mu\text{m}$. Но този метод не изправя грешката на разположение на оста на отвора относно изходните бази. Този параметър на точност трябва да се осигури предварително чрез разстъргване.

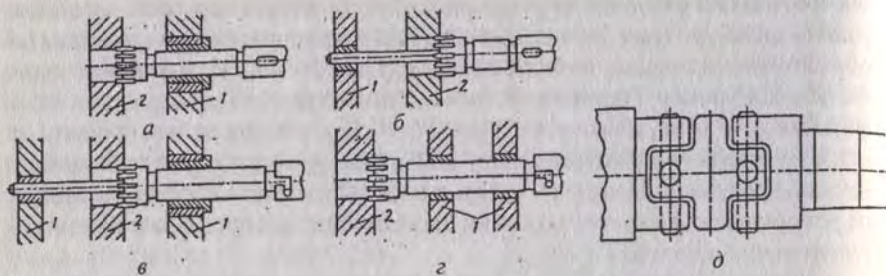
Точността на разстоянията от осите на обработваните отвори до изходните бази се осигурява чрез разчертаване, пробни проходи, отчитане на координатите, кондукторни приспособления.

Разчертаването се използва в единичното и дребносериеното производство при грубо разстъргване, осигурява точност до 0,5 mm.

Методът на пробните проходи се използва също в единичното и дребносериеното производство при отсъствие на точни координатно-разстъргващи машини. Осигурява точност до 0,02 mm, но е трудоемък.

Кондукторните приспособления се използват в серийното и масовото производство. Най-простият кондуктор представлява шаблон от ламарина с дебелина 10...12 mm. В него са обработени точни отвори, разположението на които съответства на разположението на обработваните отвори на корпусния детайл. Шаблонът се установява върху масата на машината, координатната му система се съвместява с координатната система, определена от основните бази на обработвания детайл. С помощта на центротърсач (приспособление за съвместяване на две координатни оси) оста на вретеното последователно се съвместява с отворите на шаблона и при това положение се обработват отворите на детайла. Този метод осигурява точност $0,08 \dots 0,2 \text{ mm}$.

При по-голяма серийност на производството се използват специални кондукторни приспособления, осигуряващи точно водене на инструмента с помощта на кондукторни втулки (фиг.24.10).



Фиг.24.10. Кондукторни приспособления
1 – приспособление; 2 обработван детайл

Глава 25

ПРОЕКТИРАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИ ПРОЦЕСИ ЗА ИЗРАБОТВАНЕ НА РОТАЦИОННИ ДЕТАЙЛИ

25.1. Проектиране на технологични процеси за изработване на валове

Проектиране на маршрутен технологичен процес. Валове са предназначени за приемане и предаване на въртящ момент и за базиране на детайлите, с помощта на които се приема и предава въртящият момент. От технологична гледна точка валове се класифицират по конструктивна форма, размери, материал и технически изисквания.

Според конструктивната си форма валове са гладки и стъпални, с права и начупена ос, без и с централен отвор, стабилни и нестабилни.

Според размерите си валове са с малки ($D_{\max} \leq 6\text{mm}$), средни ($D_{\max} = 6 \dots 50\text{mm}$) и големи ($D_{\max} > 50\text{mm}$) размери.

Към валове се предявяват технически изисквания за точност, якост, стабилност, износуустойчивост. Техническите изисквания за точност са следните: точност на размерите и формата на повърхнините; точност на взаимното разположение на основните шийки; точност на разположение на отделните повърхнини спрямо оста, определена от основните шийки; грапавост на повърхнините. В зависимост от изискванията за точност валове са с особено висока (5-6 степен), обикновена (7 степен) и ниска (8-9 степен) точност.

По конструктивна форма и технически изисквания до валове са близки друг вид характерни детайли – осите, служещи за базиране на въртящи се детайли. Ето защо по-голямата част от това, което ще бъде казано за обработването на валове, се отнася и за осите.

Валове се изработват от конструкционни и легирани стомани, по-рядко от чугун. Видът на заготовката и методът за нейното получаване се определят от формата и размерите на вала и големината на производствената програма.

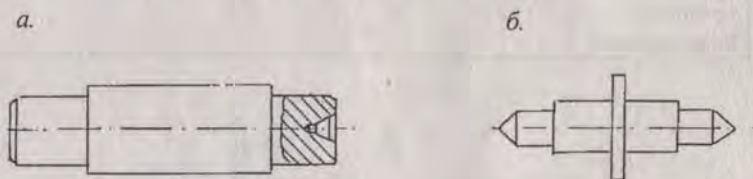
Валове с малки размери се изработват от прътов материал.

Валове със средни и големи размери и малка разлика между диаметрите на най-голямото и най-малкото стъпало се изработват от единични заготовки от прътов материал. Отрязването на заготовките се извършва на стругови машини, на циркулярни фрезови машини, с абразивни дискове и др.

В останалите случаи в единичното и дребносериеното производство валове се изработват от единични заготовки от прътов материал, в серийното и масовото производство – от заготовки, получени чрез пластично деформиране.

Основни бази на валове са основните лагерни шийки и принадлежащите им чела, най-често тези шийки са две. Коляновите валове на двигателите с вътрешно горене са силно натоварени и нестабилни, затова имат няколко основни лагерни шийки. Броят им зависи от броя на цилиндрите на двигателя. На по-голямата част от операциите е нерационално да се използват основните бази за технологични. Ето защо при обработването на валове се създават изкуствени технологични бази във вид на два центрови отвора, осите на които материализират надлъжната ос на вала (фиг.25.1а). За валове с малки размери като изкуствени технологични бази се предвиждат външни конусни повърхнини (фиг.25.1б). Използването на изкуствени технологични бази налага да се обработват за една установка повърхнините, взаимното разположение на които е зададено с висока точност.

Маршрутният технологичен процес за изработване на стъпални валове с права ос без централен отвор е приведен в табл.25.1.



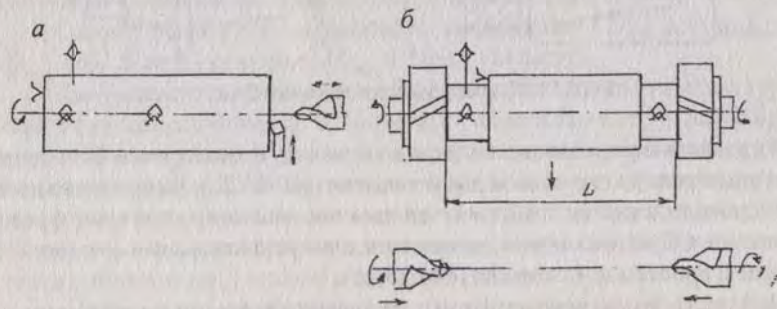
Фиг.25.1. Изкуствени технологични бази

В единичното производство за подготовка на технологични бази се използват универсални стругове за две установки (фиг.25.2а). В серийното и масовото производство се използват специални машини, наричани фрезо-центровъчни. Обработването се извършва за една установка в две позиции – за фрезование и пробиване, съответно (фиг.25.2б).

Най-често използваните форми на центрови отвори са показани на фиг.25.3. Формата В (фиг.25.3а) е комбинация от конусен отвор и предпазна фаска с ъгъл 120° . Формата Т (фиг.25.3б) вместо предпазна фаска има цилиндричен пояс, осигуряващ възможност за шлифование на челото при установяване между

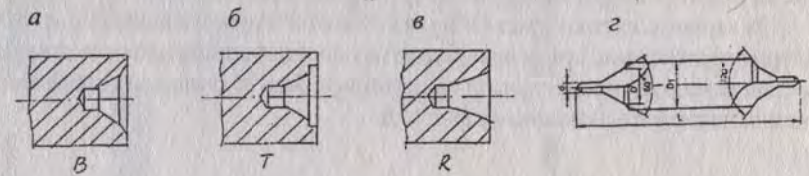
Таблица 25.1.
Маршрутен технологичен процес

N по ред	Етапи на технологичния процес		
	Вид на заготовката		
	прътов материал	единична заготовка от прътов материал	заготовка, получена чрез пластично деформиране
1	Изправяне	Отрязване	Пластично деформиране
2			Термообработване за подобряване на обработваемостта
3	Безцентрово шлифоване	Подготовка на бази – обработване на чела и центрови отвори	
4	Предварително струговане по контура. Окончателно струговане или предварително шлифоване.		
5	Обработване на шлицы, шпонкови канали, пробиване на отвори, нарязване на зъби, нарязване на резби.		
6	Термообработване – закаляване.		
7	Възстановяване на технологичните бази.		
8	Чисто обработване на цилиндричните и челните повърхнини.		
9	Чисто обработване на профилните повърхнини.		
10	Почистване на мустаци, притъпяване на остри ръбове.		
11	Нанасяне на размерни, защитни и декоративни покрития.		
12	Довършващо обработване на повърхнините с високи изисквания за точност.		
13	Балансиране.		



Фиг.25.2. Подготовка на технологични бази

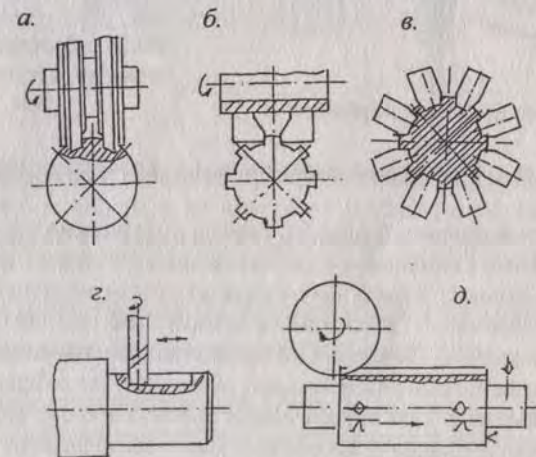
центри. Формата R (фиг.25.3в) се използва при обработване на валове с високи изисквания за точност. Пробиването на центровите отвори се извършва със специални комбинирани инструменти – центрови свредла (фиг.25.3г).



Фиг.25.3. Форми на центрови отвори

В единичното и дребносериеното производство операциите струговане се изпълняват на универсални стругове и стругове с ЦПУ. В серийното и масовото производство се използват хидрокопирни стругове, многоножови стругове, вертикални многовретенни полуавтомати, стругове с ЦПУ.

Шпонкови и шлицеви канали се обработват най-често чрез фрезване (фиг.25.4а,б,з,д). В масовото производство за обработване на шлицеви канали се използват многоножови дълбачни глави (фиг.25.4в).

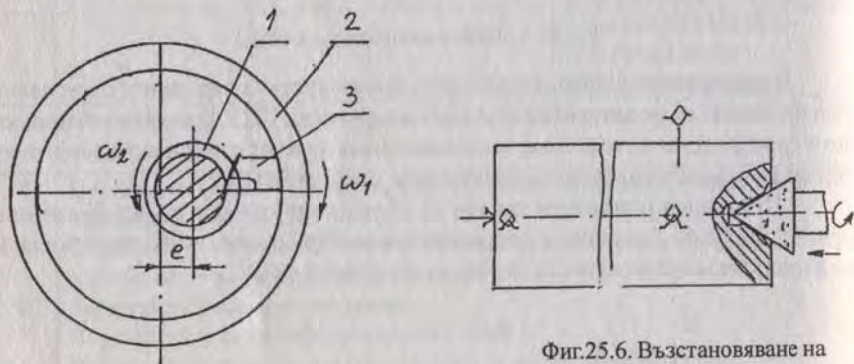


Фиг.25.4. Обработване на шпонкови и шлицеви канали

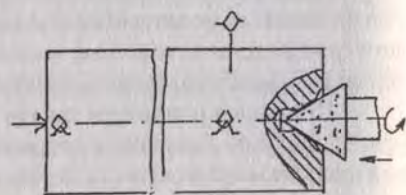
Нарязването на резби се извършва с метчици, плашки, резбови глави, стругарски ножове, резбови фрези. Резби с малко сечение на навивките се нарязват чрез резбошлифоване. Един от най-високопроизводителните методи за нарязване на резби върху валове е вихровото фрезване (фиг.25.5). Фрезоващата глава 2 се върти с честота ω_1 , обработваният детайл 1 - с честота на кръговото подаване ω_2 . Оста на фрезоващата глава е изместена на разстояние

е от оста на въртене на заготовката. Обикновено в главата са установени 4 ножа. В резултат на това за един оборот на главата всеки от ножовете 3 срязва стружка с малка дължина, през останалото време той се охлажда. Надлъжното преместване на главата е синхронизирано с въртенето на заготовката.

За валове с високи изисквания за точност и за всички валове, подлагани на термообработване, преди шлифование на основните повърхнини се извършва възстановяване на точността на технологичните бази на специални шлифовъчни машини по схемата, показана на фиг.25.6.



Фиг.25.5. Вихрово фрезование на резби

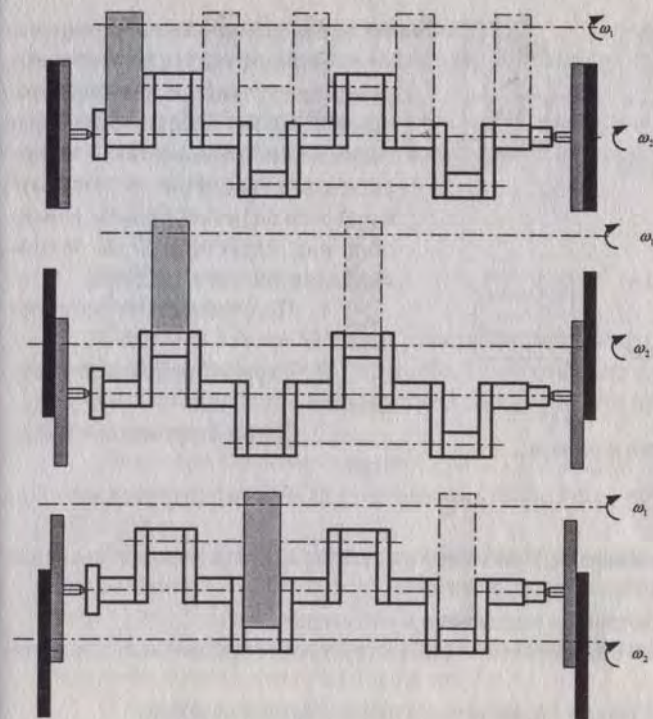


Фиг.25.6. Възстановяване на точността на технологичните бази

Схемите за шлифование на повърхнините на валове са разгледани в гл. 10 (фиг.10.1).

Технологични процеси за обработване на колянни валове. Колянните валове на двигателите с вътрешно горене са сложни и отговорни детайли с високи изисквания за точност. Освен начупената ос за тези детайли е характерно наличието на множеството пресичащи се отвори с малък диаметър и голяма дължина (маслени канали). Основните и биелните шийки в процеса на експлоатация са подложени на интензивно износване, затова към тях се предявява изискване за висока твърдост. Това налага между грубото и чисто обработване на вала да се предвиди операция термообработване – закаляване на шийките.

Предварителното обработване на шийките и принадлежащите им чела се извършва чрез струговане и фрезование, чистото – чрез шлифование, довършващото – чрез полиране. Базирането при изпълнение на тези операции се извършва между центри по центрови отвори, материализиращи оста на основните шийки. Обработването се извършва на специални машини, имащи възможност за изместване на оста на центрите така, че с оста на въртене на вретеното да съвпадат осите на биелните шийки (фиг.25.7). В единичното производство обработването се извършва на универсални машини с използване на специални приспособления.



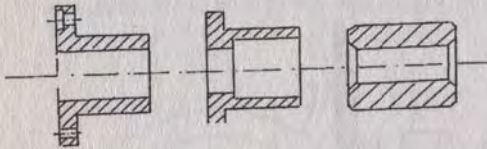
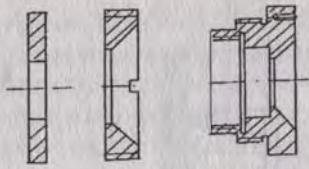
Фиг.25.7. Обработване на основните и биелни шийки на колянни валове

Пробиването на отворите за маслени канали в серийното и масовото производство се извършва на агрегатни машини, в единичното и дребно-серийното – на машини за дълбоко пробиване.

25.2. Проектиране на технологични процеси за изработване на втулки и дискове

В машиностроителните изделия се срещат множество детайли, представляващи комбинация от външни и вътрешни ротационни повърхнини и чела (фиг.25.8). Предназначението им е най-различно: зъбни колела, плъзгащи лагери, фланци и капаци за установяване на търкалящи лагери, цилиндрови втулки на двигатели с вътрешно горене, дистанциони втулки и др. От технологична гледна точка те се класифицират по отношението на дължината L към диаметъра d на повърхнина, служеща за основна база: при $L/d < 1$ те се наричат дискове, при $L/d \geq 1$ - втулки.

Втулките и дисковете се изработват от конструкционни и легирани стомани, чугун, цветни метали и сплави. Най-често заготовките са прътове и тръби. В серийното и масовото производство се използват заготовки, получени чрез



Фиг.25.8. Втулки и дискове

леене или пластично деформиране.

Поради голямото разнообразие на втулките и дисковете по предназначение, форма, материал и технически изисквания, технологичните процеси за изработването им са разнообразни. В най-общ вид структурата на технологичния процес е следната:

1. Получаване на заготовката.
2. Термообработване – отгряване.
3. Грубо струговане по контура.
4. Чисто струговане по

контура.

5. Фрезоване на канали. Пробиване на отвори, осите на които не съвпадат с оста на детайла.

6. Термообработване – закаляване и отпускане.

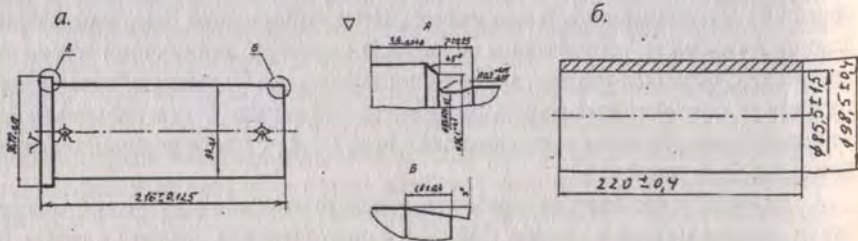
7. Довършащо обработване – фино струговане, шлифование, хонинговане, притриване.

8. Нанасяне на размерни, защитни и декоративни покрития.

Каго пример ще разгледаме технологичния процес за изработване на цилиндрова втулка за двигател Перкинс (фиг.25.9а), произвеждана в чугунолеярния завод в гр.Враца. Материалът на втулката е сферографитен чугун, заготовката (фиг.25.9б) се получава чрез центробежно леене. Характерното за тази втулка е, че тя е тънкостенна (“суха”). Поради това вътрешната повърхнина на втулката се обработва само предварително. Окончателното и обработване се извършва след запресоване на втулката в цилиндровия блок на двигателя в завода за двигатели гр.Варна.

Технологичният процес включва следните операции:

1. Получаване на заготовката.



Фиг.25.9. Цилиндрова втулка за двигател Перкинс

2. Термообработване – отгряване.

3. Еднократно обработване (разстъргване) на отвора, горното чело и фаската.

4. Струговане по контура на всички останали повърхнини.

5. Безцентрово шлифование на външната цилиндрична повърхнина, служеща за основна база.

6. Контрол.

7. Измиване.

8. Консервиране.

9. Опаковане.

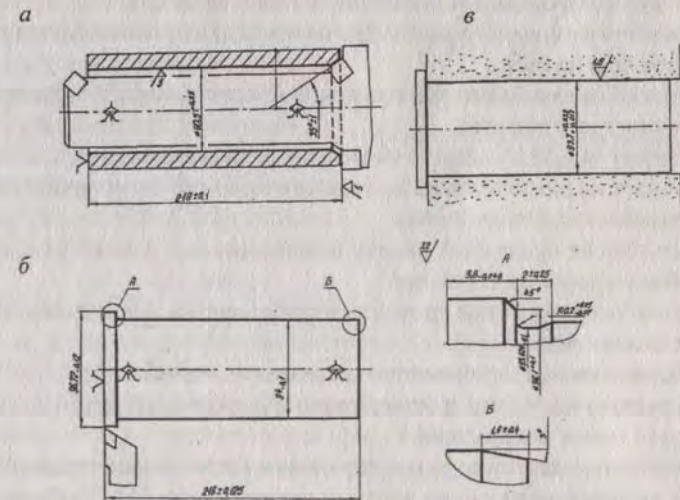
Операция 3 се изпълнява за една установка и един преход. Обработването се извършва с комбинирана борщанга. Обработваният детайл се установява по външната цилиндрична повърхнина и долното чело в призма и извършва надлъжно подаване (фиг.25.10а).

Операция 4 се изпълнява на струг СТ161 с ЦПУ. Втулката се установява върху раздвижен дорник по вътрешната повърхнина и обработеното горно чело (фиг.25.10б).

Операция 5 се изпълнява върху безцентрово-шлифовъчна машина с радиално подаване. Втулката се установява върху раздвижен дорник, както на операция 4 (фиг.25.10в).

Операция 6 се изпълнява на специален стенд. Втулката се установява върху раздвижен дорник, както на операции 4 и 5.

След запресоване на втулката в блока на двигателя се извършва чисто разстъргване и хонинговане.

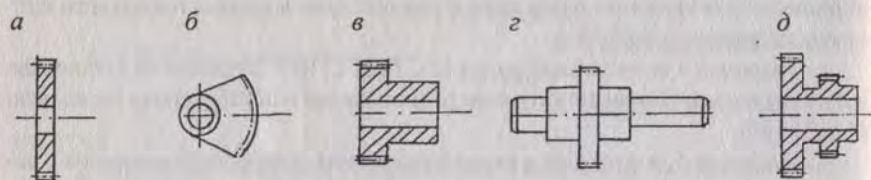


Фиг.25.10. Технологичен процес за изработване на цилиндрова втулка за двигател Перкинс

ПРОЕКТИРАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИ ПРОЦЕСИ ЗА ИЗРАБОТВАНЕ НА ЗЪБНИ КОЛЕЛА

Зъбните предавки служат за предаване на въртящ момент. Елементите на зъбните предавки са цилиндрични и конусни зъбни колела, червяци и червячни зъбни колела, зъбни гребени (зъбни рейки).

В зависимост от конструктивната си форма зъбните колела са: дискове (фиг.26.1а), втулки (фиг.26.1в), сектори (фиг.26.1б), валове (фиг.26.1г) и блокове (фиг.26.1д).



Фиг.26.1. Конструктивни форми на зъбни колела

Към зъбните колела се предявяват следните изисквания за точност:

- точност на размерите, формата и взаимното разположение на основните базови повърхнини;
- точност на формата на единичните зъбни профили;
- точност на взаимното разположение на разноименните зъбни профили (дебелина на зъба);
- точност на взаимното разположение на едноименните зъбни профили (точност на стъпката);
- точност на направлението на зъба по неговата дължина
- точност на разположение на зъбния венец относно основните бази;
- грапавост на повърхнините.

Освен това се предявяват високи изисквания към физико-механичните свойства на материала на детайлите.

Условно технологичния процес за изработване на зъбни колела може да се раздели на два етапа:

- обработване на заготовката до нарязването на зъбите;
- нарязване на зъбите и окончателно обработване на зъбите и всички други точни повърхнини.

Първият етап по структура и съдържание съответства на технологичните процеси за изработване на валове, втулки и дискове (вж.гл.25). Особеностите на зъбообработването се проявяват на втория етап от технологичния процес. Времето за обработване на зъбите е 50...60 % от общото време за обработване на

детайла.

Технологичният процес за обработване на закалени зъбни колела 6 степен на точност включва следните групи операции:

- Получаване на заготовката;
- Нормализиране или отгряване за подобряване на обработваемостта и намаляване на вътрешните напрежения.
- Грубо и чисто обработване на детайла по контура.
- Предварително обработване на зъбите.
- Термообработване – закаляване и отпускане.
- Чисто обработване на детайла по контура.
- Чисто обработване на зъбите.
- Стабилизиращо отпускане.
- Довършващо обработване на детайла (включително на зъбите).

При нарязването на зъбите обработваните детайли се базират така, както е показано на фиг.26.2.

За да се осигури минимално радиално биене на зъбния венец при нарязване на зъбите базовият отвор (за зъбни колела дискове и втулки) или базовата шийка на вала (за зъбни колела валове) трябва предварително да се обработи по 6–7 степен на точност.

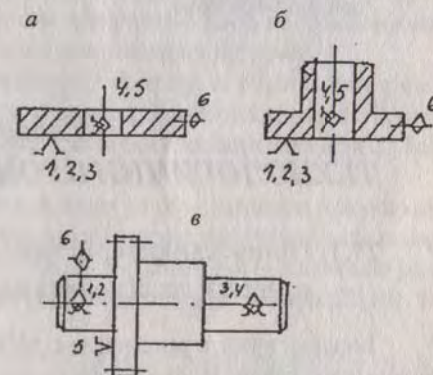
За намаляване на грешката α_{Σ} на разположението на зъбите по отношение на основните бази, с технологичен допуск α_T се ограничава отклонението от перпендикулярност на базовото чело към базовия отвор (за зъбни колела дискове и втулки) (фиг.26.3), тъй като

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_T + \alpha_0, \quad (26.1)$$

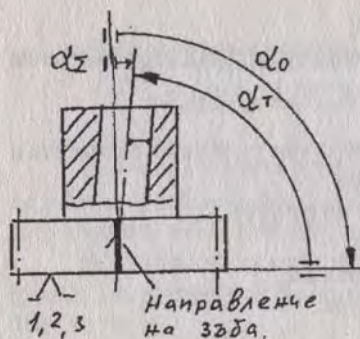
където α_0 е допускът, ограничаващ точността на зъбонарязващата машина.

При обработване на конусни зъбни колела предварително с висока точност (6...7 степен) трябва да се осигури големината на ъгъла на конуса и разстоянието от базовото чело до върха на конуса (фиг.26.4).

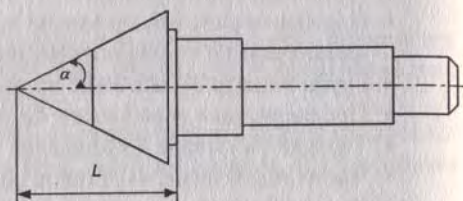
Методите за нарязване и довършващо обработване на зъбите бяха разгледани в глава 11.



Фиг.26.2. Базирание при зъбонарязване



Фиг.26.3. Получаване на грешка в разположението на зъба при зъбонарязване



Фиг.26.4. Показатели на точност, осигурявани до нарязване на зъбите

Глава 27

ТЕХНОЛОГИЧНИ ПРОЦЕСИ ЗА СГЛОБЯВАНЕ

27.1. Обща характеристика на технологичните процеси за сглобяване

Технологичните процеси за сглобяване включват действията по ориентиране, сдружаване и закрепване на детайлите и възлите с цел получаване на изделия с необходимото качество. В технологичните процеси за сглобяване се включват и редица действия, свързани с подготовката на детайлите за сглобяване, контролирането, изпитването и настройването на възлите и изделията.

Качеството на изделията се осигурява не само в процеса на изработване на детайлите, но и в процеса на сглобяването им. С използването на методите регулиране и нагаждане в редица случаи е възможно от неточни детайли да се сглоби точно изделие, разбира се, при голяма трудопоглъщаемост и себестойност на технологичния процес на сглобяване. Може да се срещне и обратния случай – от високоточни детайли се сглобява некачествено изделие. Причините за това са следните:

- грешки, допускани при ориентирането и закрепването на сглобяваните детайли;
- грешки от регулиране, нагаждане и контрол в процеса на сглобяване;
- еластични и пластични деформации на детайлите, възникващи при сдружаване и закрепване;
- задиране на сдружаваните повърхнини.

От технико-икономическа гледна точка технологичният процес на сглобяване най-добре се характеризира с коефициента на трудопоглъщаемост K_{TP} , определен като отношение на общото време за сглобяване на изделието $\sum T_{сг}$ към общото време за изработване на детайлите му $\sum T_0$

$$K_{TP} = \frac{\sum T_{сг}}{\sum T_0} \quad (27.1)$$

Колкото по-малък е K_{TP} , толкова по-съвършен е технологичният процес за сглобяване. Този коефициент зависи, основно, от типа на производството и от методите за осигуряване на точността в процеса на сглобяване. Стойностите на K_{TP} се колебаят между 0,1...0,6, те са по-малки в масовото и едросерийното производство и по-големи в единичното и дребносерийното.

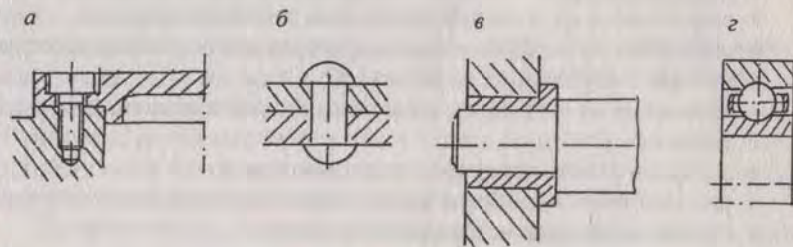
Всички съединения, срещани в конструкциите на машините, от гледна точка на процеса на сглобяване се класифицират по два признака - подвижност и разглобяемост - на четири вида: неподвижни разглобяеми, неподвижни неразглобяеми, подвижни разглобяеми и подвижни неразглобяеми.

Неподвижните разглобяеми съединения най-често се осъществяват чрез сдружаване на цилиндрични повърхнини, шпонки и шлицы по преходни сглобки, чрез скрепителни резбови съединения, чрез еластични елементи и др. (фиг.27.1а). Те са около 35 % от всички съединения.

Неподвижните неразглобяеми съединения се осъществяват чрез гарантирана стегнатост, заваряване, запояване, развалцоване, занитване, залепване, заформоване (заливане). Разглобяването им е свързано с повреждане или разрушаване на сдружаваните детайли или свързващото вещество (фиг.27.1б). Те са около 15 % от всички съединения.

Подвижните разглобяеми съединения са най-разпространени – около 45% от всички съединения. Конструктивно те се оформят като сдружени цилиндрични, конусни и равнинни повърхнини (фиг.27.1в).

Най-малко разпространение (около 5 %) имат подвижните неразглобяеми съединения (фиг.27.1г).



Фиг.27.1. Видове съединения

От технологична гледна точка най-голям интерес предизвикват цилиндричните и конусни съединения и скрепителните резбови съединения. По-надолу ще ги разгледаме по-подробно.

Постъпващите за сглобяване детайли трябва да се почистят от стружки и други частици, да се измият следите от МОН и антикорозионно покритие. Вътрешните повърхнини на някои корпусните детайли се обезмасляват и боядисват с маслоустойчиви бои.

За обезмасляване и миене широко се използват разтвори на соли на основни метали и повърхностно активни вещества. Нагнетите до температура 70...90 °С разтвори се подават под налягане към детайлите в специални еднокамерни или двукамерни установки. Във втората камера на двукамерните установки детайлите се измиват с гореща вода. Детайли с малки размери се почистват във вани с миеща течност, в която се възбуждат колебания с ултразвукова честота (20...30 kHz).

След измиване детайлите се изсушават, най-често за тази цел се използва сгъстен въздух.

Целесъобразно е детайлите да се продухат със сгъстен въздух непосредствено преди сглобяване. Освен изсушаване с това се отстраняват и частици, случайно попаднали след измиването на детайлите.

27.2. Проектиране на технологични процеси за сглобяване

При проектирането на технологичните процеси за сглобяване по същество се решават същите задачи, както и при проектирането на технологичните процеси за механично обработване. Но тези задачи имат свои специфични особености.

Етапите на проектиране на технологичния процес за сглобяване са следните:

- запознаване със служебното предназначение на изделието и анализ на техническите изисквания;
- подготовка на изходни данни;
- избиране на методите за осигуряване на точността (ако те не са избрани от конструктора);
- избиране на организационната форма на технологичния процес;
- разработване на технологичната схема за сглобяване;
- определяне на съдържанието на операциите и тяхната последователност;
- избиране на режимите на работа;
- нормиране на операциите и определяне на квалификацията на работниците;
- избиране на методите и средствата за контрол;
- разработване на задание за конструиране на технологична екипировка;
- оформяне на технологична документация.

Един от основните етапи на проектирането на технологичния процес е разработването на схемата на елементите на изделието и на технологичната схема за сглобяване.

Детайлите и възлите, от които се състои изделието, се наричат негови елементи. При това възелът може да бъде:

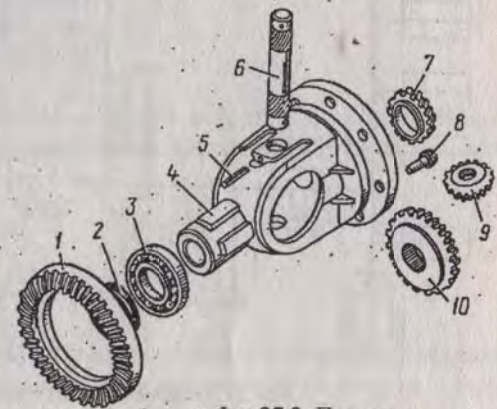
- група – когато при сглобяването влиза непосредствено в състава на изделието, например, предавателната кутия на автомобил (вж. фиг. 16.17);
- подгрупа – когато при сглобяването влиза в състава на група, например, диференциалът (фиг. 27.2) в предавателната кутия (вж. фиг. 16.17);
- комплект – когато се сглобява и подлага на изпитване, но след това при окончателното сглобяване частично или напълно се разглобява, например, главната предавка на автомобила при определяне на монтажния размер (вж. фиг. 16.18а);

Подгрупа, която влиза непосредствено в състава на група, се нарича подгрупа от първи порядък; подгрупа, която влиза в състава на подгрупа от първи порядък, се нарича подгрупа от втори порядък и т.н.

В схемата на елементите на изделието се определя взаимната връзка между тези елементи и се показва редът на сглобяването на отделните възли и цялото изделие. В тази схема всеки детайл или възел условно се изобразява като правоъгълник, разделен на три части (фиг. 27.3). В горната част се записва наименованието, в долната лява – индексът, в долната дясна – броят на едновременно сглобяваните елементи.

Схемата на елементите на изделието зависи само от конструкцията на изделието. Сглобяването на групата и подгрупата започва с базов детайл, а наименованието им съвпада с наименованието на този детайл. Номерът (индексът) се определя по следния начин: групата се обозначава с буквите *C₂* и номера на базовия детайл, например, *C₂-16*. Подгрупата се обозначава така, както групата, но пред буквите *C₂* се поставя цифра, показваща порядъка на подгрупата. Например, *3C₂-7* означава подгрупа от трети порядък, влизаща в състава на група с базов детайл N 7.

Съставянето на схемата на елементите на изделието започва с базовия детайл на изделието и завършва с готовото изделие (фиг. 27.4). Отдясно на главната линия по посока от базовия детайл към изделието се нанасят всички групи, а отляво – всички детайли, влизащи непосредствено в изделието.



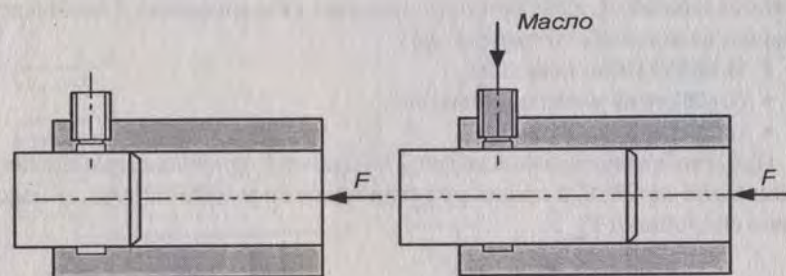
Фиг. 27.2. Подгрупа

Наименование	
N	Броя

Фиг. 27.3. Условно изобразяване на елемент на изделието

почти напълно отсъства, намалява се коефициентът на триене, а, следователно, и силата на триене десетки пъти.

Подаването на маслото под налягането се извършва по две схеми. При първата схема (фиг.27.7) маслото се подава през специално предвидени в конструкцията на съединението елементи – отвор и пръстеновиден канал. При втората схема се използват специални приспособления, маслото се подава по челото на съединението.



Фиг.27.7. Сглобяване с масло под налягане

Съединенията, сглобявани с масло под налягане, могат да се разглобяват и сглобяват многократно. Разбира се, разглобяването се извършва също с масло под налягане.

Сглобяването с топлинно въздействие се извършва чрез нагриване на обхващащия детайл или изстудяване на обхванатия. Температурата T за нагриване или охлаждане се определя по формулата:

$$T = \frac{\Delta + i}{K_{\alpha} d} \pm T_0, \quad (27.4)$$

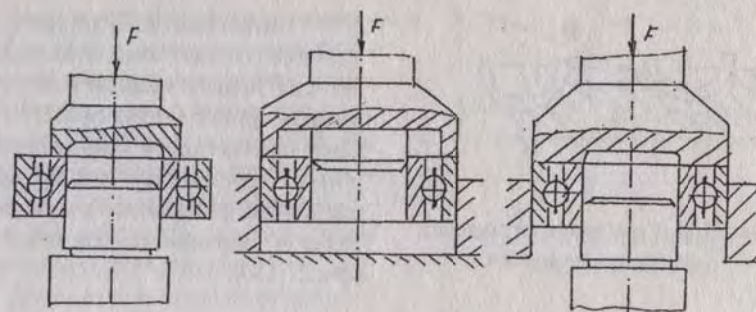
където Δ е максималната стегнатост в съединението, mm; K_{α} - коефициентът на линейно разширение на материала на детайла, $^{\circ}\text{C}^{-1}$; T_0 - температурата на околната среда, $^{\circ}\text{C}$. При нагриване тя се приема със знак плюс, при охлаждане - със знак минус; $i = 0,01\sqrt{d}$.

При сглобяването с топлинно въздействие грапавините не се смачкват, а влизат една в друга. Това повишава якостта на съединението 1,5...2,5 пъти по сравнение с прилагането на осова сила.

Нагриването на детайлите се извършва до температура 320...350 $^{\circ}\text{C}$ в маслени вани, електроспротивителни пещи, индукционни установки и др.

При сглобяване с охлаждане якостта на съединението е с 10...15 % по-голяма, отколкото при сглобяване с нагриване. Охлаждането се извършва най-често с твърд въглероден двуокис (до -78 $^{\circ}\text{C}$) или течен азот (до -195 $^{\circ}\text{C}$).

При сглобяване на търкалящи лагери осовата сила трябва да се прилага непосредствено върху сдружавания пръстен с подходящ дорник (фиг.27.8).

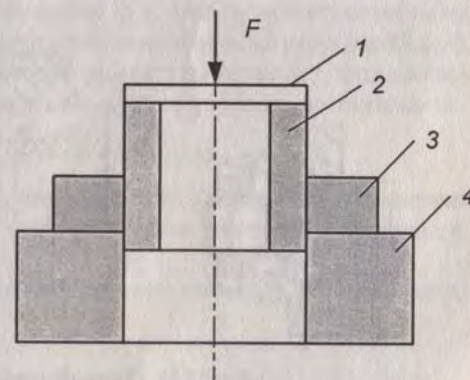


Фиг.27.8. Сглобяване на търкалящи лагери

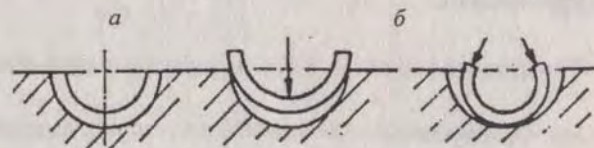
При сглобяване на втулките на неразглобяемите плъзгащи лагери особено внимание трябва да се обръща на направляването на втулката 2 при запресоването и в корпуса 4. За тази цел се използват различни направляващи дорници 1 и втулки 3 в зависимост от конструкцията на съединението (фиг.27.9).

За осигуряване на необходимата точността на диаметралния размер и съосността с останалите повърхнини след запресоване втулките се обработват допълнително чрез разстъргване, райбероване, калиброване и др.

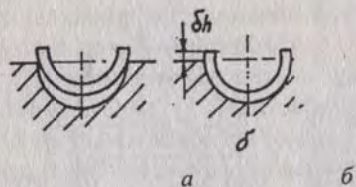
Плъзгащите лагери с двуделни черупки също се сглобяват със стегнатост. Дебелостенните черупки се установяват в леглата с малка стегнатост (0,02...0,06 mm). При сглобяване трябва да се осигури прилягане на втулките в леглото без прилагане на сила (фиг.27.10).



Фиг.27.9. Запресоване на неразглобяеми плъзгащи лагери



Фиг.27.10. Сглобяване на двуделни дебелостенни черупки
а – правилно; б – неправилно

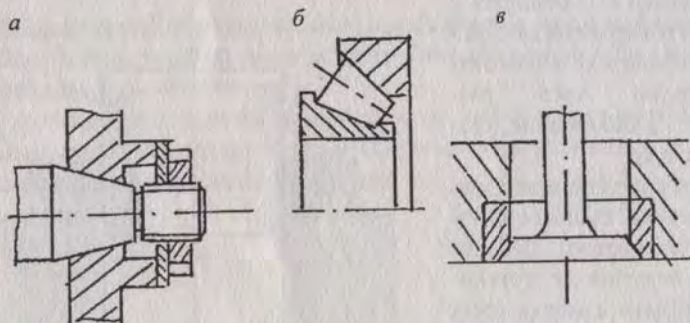


Фиг.27.11. Сглобяване на двуделни тънкостенни черупки

$$h = \frac{\pi \Delta}{4} \quad (27.5)$$

27.4. Сглобяване на конусни съединения

Подвижните конусни съединения се използват в регулируемите плъзгащи лагери (фиг.27.12а), в търкалящите лагери (27.12б), в клапаните на двигателите с вътрешно горене (фиг.27.12в) и др.



Фиг.27.12. Подвижни конусни съединения

В конусните лагери качеството на съединението се определя от точността на радиалната хлабината, която се регулира най-често с гайки или неподвижни компенсатори. Връзката между осовата z_o и радиалната z_p хлабина (фиг.27.13) се определя от уравнението:

$$\frac{z_p}{2} = z_o \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (27.6)$$

където α е ъгълът на конусност.

В конусните клапани качеството на съединението се определя от неговата херметичност. Херметичността се постига чрез дообработване (притриване) в процеса на сглобяване.

Тънкостенните лагерни черупки се сглобяват с диаметрална стегнатост. Преди поставянето в леглото те имат некръгла форма (фиг.27.11а). След притискането към леглото те приемат формата му, като краищата им трябва да излизат над разделителната повърхнина на височина (фиг.27.11б):

Неподвижните конусни съединения (фиг.27.14а) осигуряват самоцентриране на сглобяваните детайли. Получават се чрез прилагане на осова сила, създаваща необходимата стегнатост. По сравнение с цилиндричните съединения конусните позволяват многократно разглобяване без повреждане на сдружаваните повърхнини.

В процеса на сглобяване се контролира прилаганата осова сила или преместването на сглобявания детайл.

Осовата сила F за създаване на повърхностно контактно налягане p се определя по формулата:

$$F = \pi d_{cp} p f \frac{l}{\cos \alpha}, \quad (27.7)$$

където d_{cp} е средният диаметър на конуса; α - ъгълът на конусност.

В масовото и серийното производство за прилагане и контролиране на осовата сила се използва приспособление, работещо с тариран удар (фиг.27.14в). Запресоването се извършва за сметка на енергията на тежестта l , падаща свободно от височина H . Работата за запресоване A се определя по формулата:

$$A = H \cdot M \cdot g - T = H \cdot M \cdot g - K \cdot g \cdot M,$$

където M е масата на тежестта; g - земното ускорение; T - количеството енергия на удара, превърнато в топлина; K - коефициент, отчитащ частта от енергията, превърната в топлина.

От друга страна, за създаване на необходимата стегнатост Δ е необходимо да се извърши работа A_1 :

$$A_1 = F \cdot \Delta_n \quad \text{или} \quad F \cdot \Delta_n = A \cdot n,$$

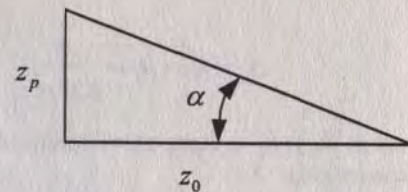
където n е броят на ударите.

Следователно, височината H може да се определи от уравнението:

$$H = \frac{F \cdot \Delta_n}{n \cdot g \cdot (M - K)}. \quad (27.8)$$

При известно H от формула (27.8) може да се определи броят на ударите n .

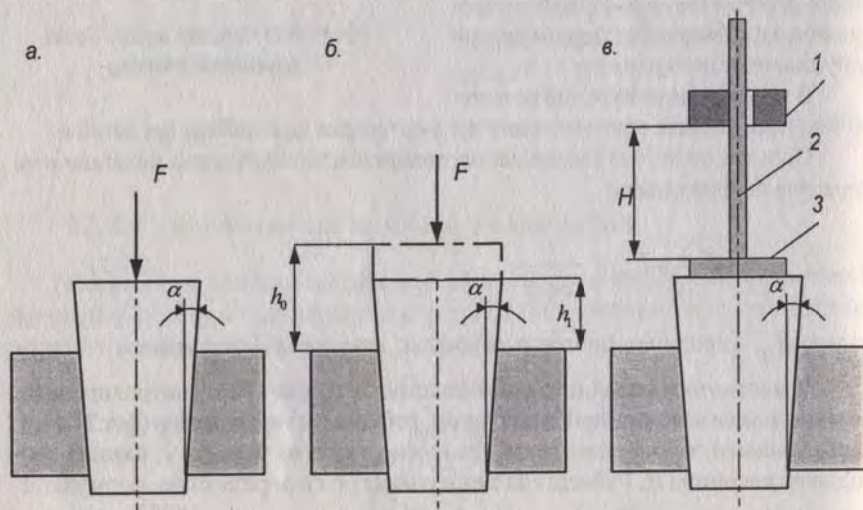
Най-голяма точност при сглобяване на неподвижни конусни съединения се постига чрез контролиране на относителното преместване h на сглобяваните детайли (фиг.27.14в). Връзката между стегнатостта Δ и базоразстоянието h се определя по формулата:



Фиг.27.13. Връзка между осова и радиална хлабина

$$\Delta_h = h_0 - h_1 = \frac{\Delta}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}$$

където h_0 и h_1 е базоразстоянието, измерено преди и след прилагането на осовата сила F .



Фиг.27.14. Сглобяване на неподвижни конусни съединения

27.5. Сглобяване на скрепителни резбови съединения

Скрепителните резбови съединения включват болтове, винтове, шпилки. Надеждността на съединенията в голяма степен зависи от силата на затягане. Поради това в процеса на сглобяване трябва да се контролира тази сила. При шпилките допълнително се контролира дължината на шпилката (фиг.27.15а) и отклонението от перпендикулярност на шпилката към сдружаваната повърхнина (фиг.27.15б). Контролирането се извършва обикновено с калибри.

За завиването на шпилките се използват ключове с различна конструкция. Ключът, показан на фиг.27.16, се състои от тяло 1 с вътрешна резба, болт 2 и ръкохватка 3. Шпилката при завиването се удържа от главата за сметка на създадената осова стегнатост в резбата между шпилката и тялото с помощта на болта.

Силата на затягане се контролира чрез:

- приложения въртящ момент;
- ъгъла на завиване на гайката;
- удължението на винта (болта, шпилката);
- деформируеми шайби;

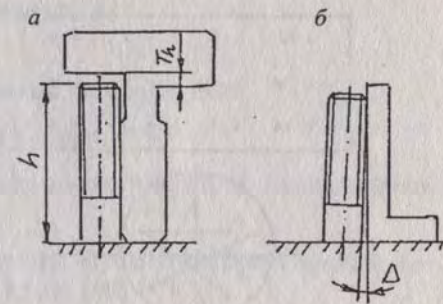
- индикаторни шайби и др.

Контролирането на въртящия момент е получило най-широко разпространение поради своята простота, удобство и производителност. По тази причина в паспортите и каталозите на автомобилите се указва именно тази величина като контролируема за всички резбови съединения. Въртящият момент, с който се затяга съединението, се контролира с динамометрични и пределни ключове.

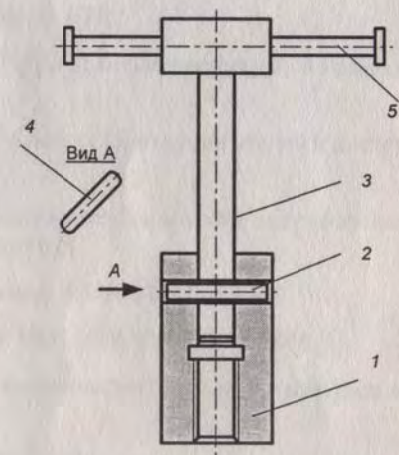
При групови съединения гайките и болтовете се затягат в определена последователност, изключваща деформирането на сглобяваните детайли (фиг.27.17).

При сглобяване на детайли от типа на плочи затягането на гайките започва от най-вътрешната гайка и постепенно по спирала се отива към най-външната (фиг.27.17а). Така се затягат гайките при сглобяване на главата на двигател с вътрешно горене към блока на цилиндрите.

При сглобяване на детайли от типа на фланци затягането на гайките (болтовете) се извършва по схемите, показани на фиг.27.17б,в. Така се затягат гайките при сглобяване на колелата на автомобила към предния или задния мост

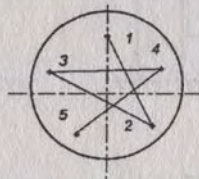
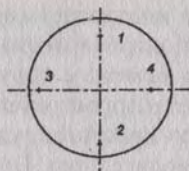


Фиг.27.15. Контролиране на шпилки



Фиг.27.16. Ключ за затягане на шпилки

+ 12	+ 9	+ 2	+ 6	+ 15
+ 10	+ 5	+ 1	+ 4	+ 11
+ 14	+ 7	+ 3	+ 8	+ 13



Фиг. 27.17. Последователност на затягане на крепежни резбови съединения

ЛИТЕРАТУРА

1. Айзман М.А. Классическая механика. М., Наука, 1974.
2. Андонов И. Рязане на металите. ТУ-София, 1991
3. Балакишин Б.С. Основы технологии машиностроения. М., Машиностроение, 1969.
4. Артамонов Н.А. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. М., Высшая школа, т. 1 и 2, 1983.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М., Наука, 1969.
6. Гаврилов А.Н. Основы технологии приборостроения. М., Высшая школа, 1976.
7. Гатев Г.К. Размерни вериги. С., Техника, 1979.
8. Георгиев А.П. Электрофизични и електрохимични технологии в машиностроенето. ТУ-София, 1994.
9. Гулида Э.Н. Теория резания металлов, металлорежущие станки и инструменты. Львов, Вища школа, 1976.
10. Дальский А.М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин. М., Машиностроение, 1975.
11. Диков А.А. Технология на уредостроенето. ВМЕИ-София, 1989.
12. Диков А.А. Размерен анализ. TEMPUS JEP 12417, ТУ-София, 1998.
13. Димитров Д. Взаимозаменяемость, стандартизация и технически измервания. С., Техника, 1987.
14. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Расчет допусков размеров. М., Машиностроение, 1981.
15. Иващенко И.А. Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации. М., Машиностроение, 1975.
16. J.E.Nicks. BASIC Programming solutions for manufacturing. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1982.
17. Kalpakjian S. Manufacturing Engineering and Tehnology. Illinois Institute of Tehnology Addison - Wesley Pub.Co. 1199r., 1990.
18. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения. М., „Высшая школа“, 2001.
19. Комиссаров В.И., Леонтьев В.И. Точность, производительность и надежность в системе проектирования технологических процессов. М., Маши-

ностроение, 1985.

20. Лекции по програмиране. Част 1 и 2. ИММ-София, 1984.
21. *Матвеев В.В. и др.* Размерный анализ технологических процессов. М., Машиностроение, 1982.
22. *Патарински П.Д.* Технология на машиностроенето. Част 2 и 3. С., Техника., 1975.
23. *Пашов С.К.* Технология на машиностроенето. ТУ-София, 1998.
24. *Попов Г.Т.* Металорежущи машини. Част 1. ТУ-София, 1994
25. *Пуш В.Э., Беляев В.Г. и др.* Металлорежущие станки. М., Машиностроение, 1986.
26. *Родин П.Р.* Металлорежущие инструменты. Киев, Вища школа, 1974.
27. *Саката Сиро.* Практическое руководство по управлению качеством (пер. с англ.яз.). М., Машиностроение, 1980.
28. Сборка и монтаж изделий в машиностроении. Т.1 и 2. Справочник под ред. В.С.Корсакова и В.К.Замятина. М., Машиностроение, 1983.
29. *Солонин И.С., Солонин С.И.* Расчет сборочных и технологических размерных цепей. М., Машиностроение, 1980.
30. Справочник технолога-машиностроителя. Под ред. А.Г. Косиловой. Т.1 и 2. М., Машиностроение, 1986.
31. Справочник на технолога. Под ред. С.К.Пашов. С., Техника, 1989.
32. *Събчев П.* Металорежущи инструменти. С., Техника, 1982.
33. *Шаумян Г.А.* Автоматизация производственных процессов. М., Высшая школа, 1967.
34. *Штур Г., Т.Штеферле.* Справочник по технологии резания материалов (пер.с нем.яз.), 1 и 2 кн. М., Машиностроение, 1985

СЪДЪРЖАНИЕ

Глава 1

ПРОИЗВОДСТВО И ТЕХНОЛОГИЧЕН ПРОЦЕС	3
1.1. Машините като обект на производство	3
1.2. Качество на машините	6
1.3. Технологична система. Формообразуване	8
1.4. Структура на технологичния процес	12
1.5. Технологична подготовка на производството	15
1.6. Технологичност на конструкцията	16

Глава 2

ОСНОВИ НА ПРОЦЕСА НА РЯЗАНЕ	19
2.1. Основни понятия и определения	19
2.2. Геометрични елементи на режещите инструменти	22
2.3. Образуване на стружката при рязане	27
2.4. Сили и работа на рязане	29
2.5. Мазане и охлаждане при рязане на металите	33
2.6. Образуване на наслойка при рязане на металите	34
2.7. Износване на режещите инструменти	36
2.8. Качество на повърхностния слой на обработената повърхнина	38
2.9. Особенности на процеса на рязане с абразивни инструменти	41
2.10. Определяне на режимите на рязане	42

Глава 3

ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА ИНСТРУМЕНТАЛНИТЕ МАТЕРИАЛИ И РЕЖЕЩИТЕ ИНСТРУМЕНТИ	43
3.1. Инструментални материали	43
3.2. Общи сведения за режещите инструменти	48

Глава 4

ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА МЕТАЛОРЕЖЕЩИТЕ МАШИНИ	56
4.1. Видове металорежущи машини	56
4.2. Общо устройство на металорежещите машини	58
4.3. Агрегатни машини и автоматични линии	67

Глава 5

СТРУГОВАНЕ	69
5.1. Кинематични схеми на обработване	69
5.2. Режещи инструменти	71
5.3. Режим на рязане	75

5.4. Видове стругови машини	80
5.4.1. Универсални стругове	80
5.4.2. Каруселни стругове	83
5.4.3. Револверни стругове	83
5.4.4. Многоножови полуавтомати	84
5.4.5. Стругове с цифрово програмно управление	85

Глава 6

ОБРАБОТВАНЕ НА ОТВОРИ	87
6.1. Кинематични схеми на обработване	87
6.2. Режещи инструменти	88
6.2.1. Свредла	88
6.2.2. Зенкери	94
6.2.3. Райбери	97
6.2.4. Разстъргващи инструменти	100
6.3. Режимы на рязане	102
6.4. Пробивни и разстъргващи машини	103
6.4.1. Вертикално-пробивни машини	104
6.4.2. Радиално-пробивни машини	106
6.4.3. Хоризонтално-разстъргващи машини	106

Глава 7

СТЪРГАНЕ И ДЪЛБАНЕ	108
---------------------------------	-----

Глава 8

ПРОТЕГЛЯНЕ	113
8.1. Кинематични схеми на обработване	113
8.2. Режещи инструменти	115
8.3. Режимы на рязане	118
8.4. Протеглящи машини	119

Глава 9

ФРЕЗОВАНЕ	121
9.1. Кинематични схеми	121
9.2. Режещи инструменти	121
9.3. Режимы на рязане	126
9.4. Видове фрезови машини	127
9.4.1. Хоризонтално-фрезови машини	128
9.4.2. Вертикални фрезови машини	128
9.4.3. Надлъжно-фрезови машини	128
9.4.4. Приспособления към универсалните фрезовите машини	129
9.4.5. Обработващи центрове	131

Глава 10

ШЛИФОВАНЕ И ДОВЪРШВАЩО ОБРАБОТВАНЕ	132
10.1. Кинематични схеми на обработване	132
10.2. Абразивни инструменти	135
10.3. Режимы на рязане	138
10.4. Шлифовъчни машини	140
10.5. Машини за окончателно (довършващо) обработване	141

Глава 11

ЗЪБООБРАБОТВАНЕ	143
11.1. Кинематични схеми на обработване	143
11.2. Режещи инструменти	150
11.3. Режимы на рязане	153

Глава 12

РЕЗБОНАРЯЗВАНЕ	156
-----------------------------	-----

Глава 13

ЕЛЕКТРОФИЗИЧНИ МЕТОДИ ЗА ОБРАБОТВАНЕ	161
13.1. Електроерозийно обработване (ЕЕО)	162
13.2. Обработване с електронен лъч	164
13.3. Обработване със светлинен (лазерен) лъч	167
13.4. Други методи	169

Глава 14

ГРЕШКИ ПРИ ИЗРАБОТВАНЕ НА ИЗДЕЛИЯТА. ИЗУЧАВАНЕ НА ГРЕШКИТЕ	171
14.1. Класификация на грешките	171
14.2. Технологична наследственост	174
14.3. Закони на разпределение на случайните величини	176
14.4. Изучаване на грешките чрез точкови диаграми	183

Глава 15

УСТАНОВЯВАНЕ НА ДЕТАЙЛИТЕ	185
15.1. Основи на базирането	185
15.2. Закрепване на детайлите	192

Глава 16

РАЗМЕРНИ ВЕРИГИ	196
16.1. Конструкторски размерни вериги - основни понятия и определения	196
16.2. Построяване на конструкторски размерни вериги	199
16.3. Решаване на проверочната задача на размерните вериги	202

16.4. Методи за осигуряване на точността на затварящото звено	205
---	-----

Глава 17

ТЕХНОЛОГИЧНИ РАЗМЕРНИ ВЕРИГИ	221
------------------------------------	-----

17.1. Размерни връзки в технологичната система. Еквивалентна размерна верига на технологичната система	221
17.2. Технологични размерни вериги	226

Глава 18

ГРЕШКИ ОТ УСТАНОВЯВАНЕ	228
------------------------------	-----

Глава 19

ГРЕШКИ В РАЗМЕРА НА ДИНАМИЧНО НАСТРОЙВАНЕ	233
---	-----

19.1. Стабилност на технологичната система	233
19.2. Механизъм на образуване на грешките от еластични деформации	235
19.3. Грешки от топлинни деформации, трептения и износване на режещия инструмент	237

Глава 20

НАСТРОЙВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНАТА СИСТЕМА НА РАЗМЕР	238
---	-----

Глава 21

ПРОЕКТИРАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИ ПРОЦЕСИ ЗА ИЗРАБОТВАНЕ НА ДЕТАЙЛИТЕ	246
---	-----

21.1. Цели и задачи	246
21.2. Проектиране на маршрутен технологичен процес	249
21.3. Проектиране на технологичните операции и преходи	253
21.4. Прибавките за обработване	255
21.5. Размерен анализ на технологичните процеси	257
21.6. Избиране на базите при проектиране на технологичните процеси	259
21.7. Нормиране на операциите	263

Глава 22

ТЕХНОЛОГИЧНИ ПРОЦЕСИ ЗА МАШИНИ С ЦИФРОВО ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ	266
---	-----

22.1. Особенности на технологичните процеси за машини с цифрово програмно управление	266
22.2. Разработване на управляващи програми	271

Глава 23

УПРАВЛЕНИЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИТЕ ПРОЦЕСИ	280
--	-----

Глава 24

ПРОЕКТИРАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИ ПРОЦЕСИ ЗА ИЗРАБОТВАНЕ НА КОРПУСНИ ДЕТАЙЛИ	285
--	-----

24.1. Проектиране на маршрутен технологичен процес	285
24.2. Обработване на повърхнините на корпусните детайли	288

Глава 25

ПРОЕКТИРАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИ ПРОЦЕСИ	294
---	-----

25.1. Проектиране на технологични процеси за изработване на валове	294
25.2. Проектиране на технологични процеси за изработване на втулки и дискове	299

Глава 26

ПРОЕКТИРАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИ ПРОЦЕСИ ЗА ИЗРАБОТВАНЕ НА ЗЪБНИ КОЛЕЛА	302
--	-----

Глава 27

ТЕХНОЛОГИЧНИ ПРОЦЕСИ ЗА СГЛОБЯВАНЕ	304
--	-----

27.1. Обща характеристика на технологичните процеси за сглобяване	304
27.2. Проектиране на технологични процеси за сглобяване	306
27.3. Сглобяване на цилиндрични съединения с гарантирана стегнатост	309
27.4. Сглобяване на конусни съединения	312
27.5. Сглобяване на скрепителни резбови съединения	314

проф. Ангел Диков

ТЕХНОЛОГИЯ НА МАШИНОСТРОЕНЕТО
общ курс

Второ издание, 2006 г.

Предпечатна подготовка "СОФТТРЕЙД"

ISBN-10: 954-334-034-X
ISBN-13: 978-954-334-034-7

Издава "СОФТТРЕЙД"
тел. 02/9575998; GSM 088/843 50 53
e-mail: rosimiteva@hotmail.com; stayka@abv.bg