Швидкість різання при різних видах механічної обробки

***1. Загальні положення***

Швидкість різання – це один з основних факторів, які визначають продуктивність обробки. Із збільшенням швидкості різання росте продуктивність обробки, але швидше спрацьовується інструмент і ростуть зв’язані з цим затрати. Тому в кожному конкретному випадку треба вибирати допустиму швидкість різання, при якій забезпечується найвища продуктивність при найнижчій собівартості виробів.

Швидкість різання обмежують властивості інструментального матеріалу. На швидкість різання, яку допускає інструмент, впливають матеріал різальної частини інструменту, вид обробки, оброблюваний матеріал, подача і глибина різання, геометричні параметри різальної частини інструменту, мастильно-охолоджуючі речовини. Швидкість різання визначається при поздовжньому точінні по залежності , а при фасонному точінні і відрізанні *v=*. В цих залежностях *Cv* – коефіцієнт, що враховує умови різання і властивості оброблюваного матеріалу, а *Т* – період стійкості різального інструменту в хв. Його необхідно вибирати так, щоб собівартість виконуваної ними операції була мінімальною. Тому для дорогих інструментів період стійкості повинен бути більшим, так як часті переточування призводять до швидкої втрати інструменту, знижують його продуктивність і збільшують собівартість обробки. Рекомендовані періоди стійкості для різних інструментів приведено в довідниках. Відносна стійкість характеризується показником степені *т*, який залежить від інструментального матеріалу і характеру спрацювання інструменту. Для швидкорізальних сталей *т*=0,1-0,125; для твердих сплавів *т*=0,2-0,25; для мінералокераміки *т*=0,5.



Чим більша глибина різання і подача тим менша швидкість різання, цей вплив залежить від показників степенів *xv* i *yv*.Ці показники менші 1 і *xv<yv*. Та при точінні конструкційної сталі твердосплавними різцями з *s>*0,3 *мм/об xv=0,15* a *yv=0,25.* Тому при розрахунках режимів обробки бажано встановлювати максимальні значення глибини різання (виходячи з припуску на обробку) і менші подачі.

Вплив всіх інших факторів враховує коефіцієнт

*К*v=*KmvKnvKivKφvKφ1KgvK*rv*Kov*

*Kmv* враховує вплив на швидкість різання властивостей оброблюваного матеріалу. Чим більше оброблюваний матеріал містить легуючих елементів, тим більша його твердість і міцність, тим більше теплоти виділяється в процесі різання, тим менша швидкість різання. Тугоплавкі домішки зменшують теплопровідність сталі, погіршують відведення тепла з зони різання і зумовлюють інтенсивне нагрівання і спрацювання інструменту. Тому з збільшенням кількості вуглецю і легуючих елементів допустима швидкість різання зменшується. Це враховує поправочний коефіцієнт *Кmv*. Для сталі , тут *КГ –* коефіцієнт, що характеризує групу сталі по оброблюваності. Для сірого чавуну *Кmv=,*а для ковкого- *Кmv=*. Окалина чи ливарна кірка на поверхні заготовки також зменшують швидкість різання, Це враховує поправочний коефіцієнт *Knv*.



Спрацювання інструменту залежить від твердості, міцності, стійкості проти спрацювання, теплостійкості і опірної адгезії його різальної частини. Чим вищі ці параметри, тим більшу швидкість різання допускає інструмент при тому ж періоді стійкості. Це враховує коефіцієнт *Kiv*.

Значний вплив на швидкість різання мають геометричні параметри різальної частини інструменту. Із збільшенням переднього кута γ зменшуються деформації оброблюваного матеріалу, сили різання і, відповідно, зменшується спрацювання різця. Все це так до деякого оптимального значення γ, яке відповідає певним оброблюваним і інструментальним матеріалам. Якщо дальше збільшувати передній кут, то погіршується тепловідведення внаслідок зменшення площі поперечного перетину різальної частини інструменту, тому треба зменшити швидкість різання. Вплив переднього кута на швидкість різання враховує поправочний коефіцієнт *Кγ*v/

Задній кут α впливає на швидкість різання аналогічно, як і γ. Із збільшенням α до певних границь (≈60) швидкість різання можна збільшувати оскільки зменшується тертя по задній поверхні різця. При дальшому збільшенні α починає руйнуватись різальна кромка через зменшення кута загострення β. Вплив кута α на швидкість різання враховує коефіцієнт *Кαv*.



На швидкість різання значно впливає головний кут в плані φ. З зменшенням кута *φ* збільшується ширина зрізу і зменшується його товщина, що покращується тепловідведення і зменшується навантаження на одиницю довжини робочої частини леза. Тому різці з малим головним кутом в плані допускають більшу швидкість різання. Враховується цей вплив коефіцієнтом *К*φv. Допоміжний кут в плані *φ1* впливає на швидкість різання майже так само, як φ. Цей вплив враховує коефіцієнт *Кφ1*.

Додатне значення кута нахилу головної різальної кромки *λ* сприяє зміцненню різця, що дає змогу підвищити швидкість різання при тому ж періоді стійкості. Це враховує коефіцієнт *Кλv*.

Ззбільшення радіуса заокруглення при вершині (плані) *r* також сприяє підвищенню швидкості різання при всіх інших незмінних умовах. Це враховує коефіцієнт *Кrv*.

Мастильно-охолоджуючі рідини знижують температуру в зоні різання, змащують поверхні тертя різального інструменту і заготовки, зменшують можливість прилипання стружки до інструменту. В результаті збільшується допустима швидкість різання і покращується якість обробленої поверхні. Вплив МОР враховує коефіцієнт *Кov*.

Крім перерахованих факторів на швидкість різання впливають форма поперечного перетину різця, допустима величина спрацювання, що також враховується відповідними коефіцієнтами.

Різання матеріалів, як технологічний спосіб обробки заготовок деталей машин, повинен забезпечити високу точність і якість оброблених поверхонь, високу продуктивність і високу економічність. Виконання цих вимог залежить від комплексу одночасно діючих факторів, які можна умовно розділити на три групи:

1-фактори,які пов’язані з фізичною природою і структурним станом матеріалу оброблюваної заготовки (оброблюваністю);

2- фактори, що визначаються властивостями матеріалу різальної частини інструменту, його конструкцією і якістю виконання;

3-факторами, які відображають експлуатаційні умови проведення процесу різання.

Оброблюваність матеріалів характеризується цілим рядом факторів, які відображають фізичні явища, що відбуваються в процесі різання (сили різання, потужність, якість поверхні…). У більшості випадків за критерій оброблюваності приймають швидкість різання, яка забезпечує деяку, найдоцільнішу в даних умовах, стійкість інструмента. Оброблюваність матеріалів багато в чому залежить від їх властивостей, а саме:

1. Здатності зміцнюватися під дією різального інструменту. В результаті зміцнення ростуть сили різання і тепловиділення, а це потребує більш теплостійкого і міцнішого інструменту.

2.Стираючої (абразивної) здатності деформованого матеріалу, яка безпосередньо діє на різальну частину інструменту. Чим вона вища, тим більша стираюча здатність, тим інструмент повинен бути стійкішим проти спрацювання, а допустима швидкість різання повинна бути меншою.

3.Теплопровідності деформованих шарів матеріалу, чим вона вища, тим менше спрацьовується інструмент і тим більшу швидкість різання можна забезпечити.

4. Рівномірності розподілу структурних складових у сталі, відсутності твердої кірки, твердих включень…

Оброблюваність сталі залежить, в основному, від її структури, вмісту в ній легуючих елементів. Чим більше в сталі мартенситу і троститу (НВ=400-500кГ/мм2) і менше фериту і перліту (НВ=80-200кГ/мм2) тим її оброблюваність гірша. Структура також впливає на якість обробленої поверхні, яка при підвищенні твердості покращується.

Із збільшенням кількості вуглецю в сталі оброблюваність її погіршується, а якість поверхні покращується, знижується теплопровідність, що збільшує температуру різання, зростає її міцність і твердість. Все це веде до зниження швидкості різання.

Легуючі елементи (Cr, Mg ,Si, W, Mo) також погіршують оброблюваність сталі, так як із збільшенням їх кількості зростають твердість і міцність, знижується теплопровідність. Наявність карбідів інтенсифікує спрацювання інструментів. З легованих сталей найгірша оброблюваність у аустенітних (нержавіючих і жароміцних). Це пояснюється їх високою адгезійною здатністю, великим тепловиділенням внаслідок значних сил різання і низької теплопровідності аустеніту, зміцненням зрізуваного шару через наклеп, підвищеною стираючою здатністю через наявність в структурі карбідів.

Чавун обробляти важче ніж сталь. Це пояснюється низькою його теплопровідністю і наявністю включень цементиту і карбідів марганцю, які мають сильну стираючу здатність. Графіт покращує оброблюваність чавуну (сприяє підвищенню швидкості різання), але погіршує якість обробленої поверхні. Оброблюваність чавуну покращується при знижені в ньому вмісту кремнію, оскільки кремній сприяє зміцненню фериту. Оброблюваність відбіленого чавуну, який містить велику кількість цементиту, різко погіршується, його майже неможливо обробляти інструментом з швидкорізальної сталі.

Високоміцний чавун з кулеподібним графітом допускає вищу швидкість різання ніж сірий чавун з пластинчастим графітом при однаковій твердості. При цьому, на відміну від сірого чавуну, оброблюваність високоміцного чавуну можна покращити термообробкою (відпалюванням, або високотемпературним відпуском).

Мідні сплави краще піддаються термообробці, ніж сталь, так як вони мають меншу границю міцності і кращу теплопровідність. Оброблюваність сплавів міді покращується із збільшенням вмісту свинцю і погіршується з збільшенням нікелю і марганцю. Мідні сплави можуть різко відрізнятись своїми властивостями. Так швидкість різання бронзи, яка містить кремній і має стираючу здатність, зменшується в 3 рази.

Оброблюваність алюмінієвих сплавів значно краща ніж сталі і швидкість різання може бути в 6-8 більшою. Оброблюваність покращується, якщо додати Cu, Pb, Sn, Mg, Bi, Zn і погіршується домішками кремнію і марганцю. Оброблюваність титанових сплавів гірша ніж конструкційної і вуглецевої сталі. Це пояснюється тим, що вони мають більшу твердість і невисоку пластичність. Поздовжня усадка стружки близька до 1, питомий тиск на передню поверхню високий Оброблюваність пластмас коливається в широких межах залежно від їх властивостей. Допустима швидкість різання при обробці цих матеріалів може бути вищою (текстоліт) і нижчою (фенопласт), ніж при обробці звичаної конструктивної сталі. Теплопровідність пластмас значно менша, ніж у металів, тому в процесі різання більше теплоти іде на нагрівання стружки та інструменту. Температура, що виникає в зоні різання часто спричиняє розм’якшення, а іноді і деформацію деталі. Тому доводиться знижувати швидкість різання.

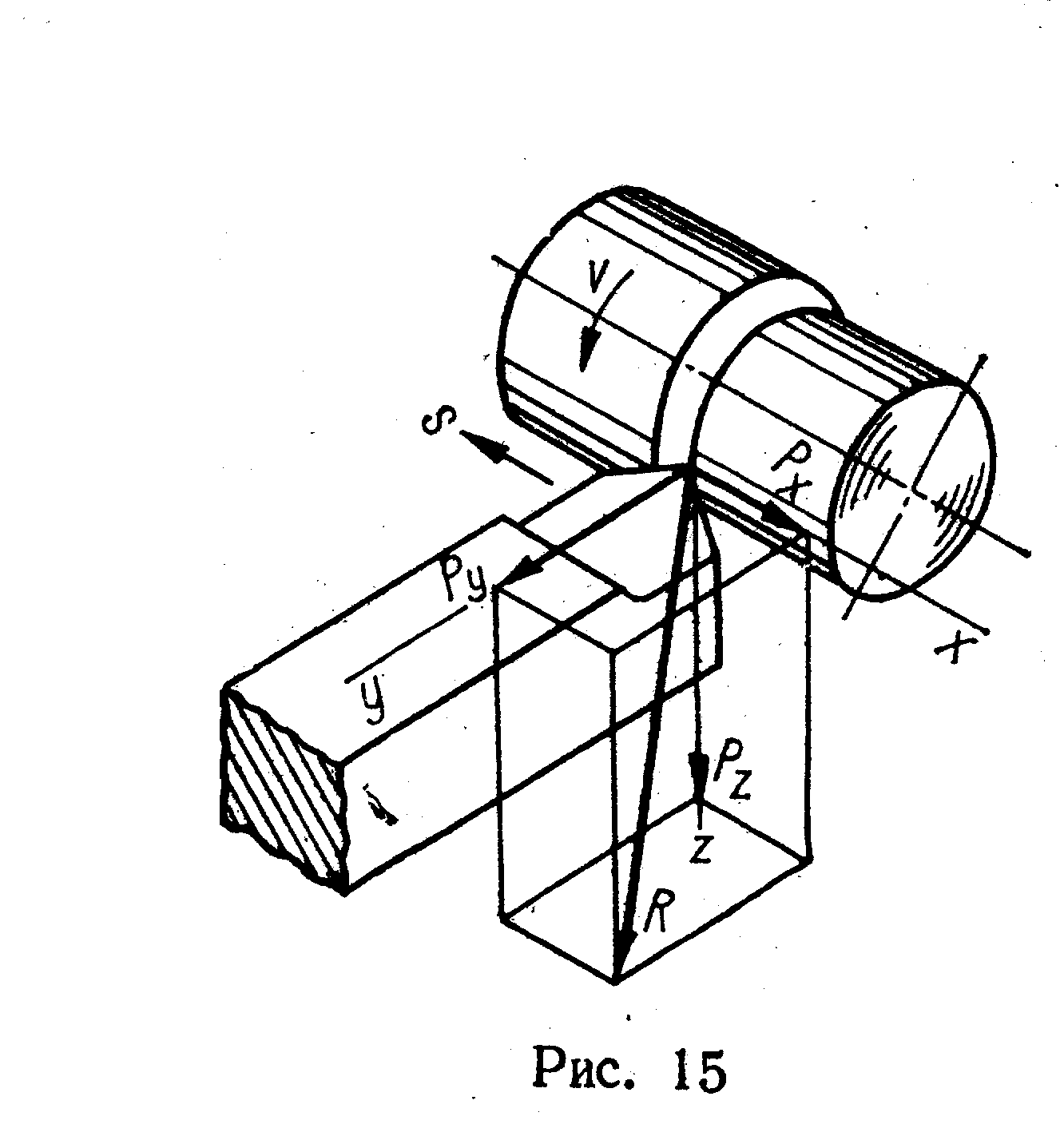
В залежності від оброблюваності всі сплави на основі металів поділяються на 14 груп. До перших двох груп відносяться магнієві і алюмінієві сплави, які найлегше обробляются. Чавуни відносяться до четвертої групи, вуглецеві сталі – до пятої, а низько і середньо леговані до шостої групи, а до 14 групи відносяться високоміцні сталі, які найважче обробляються. В кожній групі найбільш характерна марка взята за еталон. Для п’ятої і шостої груп – це сталь45, для чавунів – чавун СЧ20. Коефіцієнт оброблюваності для еталонів рівний одиниці. Коефіцієнти для інших матеріалів приведені у довідниках.

***2. Опір матеріалів різанню***

В процесі різання виникають пружні і пластичні деформації зруйнованого шару (стружки) і верхнього шару обробленої поверхні, а також сили тертя на контактних поверхнях різального інструменту. При вільному різанні, коли в роботі знаходиться одна різальна кромка, сили різання можна розглядати як плоску систему сил, що діють на контактних площадках інструменту і заготовки. Ця система включає 4 складові: *Р* і *Р1* сили, що деформують матеріал вище (*Р)* і нижче (*Р1)* лінії зрізу і *Рμ* і *Рμ1* –сили тертя по передній ізадній поверхнях (рис.16). Проектуємо ці сили на осі *y* і *z* .

*Pz=Pcosγ+Pμsinγ+P1sinα+Pμ1cosα* i *Py=-Psinγ+Pμcosγ+P1cosα+Pμ1sinα* .

Визначення цих сил складне завдання, особливо при закритому різанні, коли одночасно працюють дві різальні кромки і має місце об’ємний напружений стан.



***3. Сили різання при точінні***

Сили різання найбільш зручно розглядати на прикладі точіння, або стругання, оскільки вони найбільше вивчені. Основні закономірності цих процесів розповсюджуються на всі види обробки. Рівнодіюча всіх сил *R*, прикладених до різця з боку оброблюваного матеріалу, називається силою опору матеріалів різанню, або силою різання (рис.17).

На практиці розглядають складові цієї сили, які діють по трьох координатних осях *x,y,z R=*. *Рz* – тангенціальна складова сили різання, що діє по дотичній до поверхні різання і збігається з напрямом вектора швидкості різання. *Ру*- радіальна складова сили різання, що діє перпендикулярно до осі заготовки. *Рх –* осьова складова сили різання, що діє паралельно осі обертання заготовки в напрямку протилежному руху подачі. На співвідношення між цими силами і їх значення впливає багато факторів. Так при *φ=450, λ=0* і *γ=*150 *Ру/Рz* =0,4 –0,5; *Рх/Рz*=0,3-0,4. Сумарна сила



*R==*1,14-1,18*Pz*.



Тангенціальна складова *Pz* є найбільшою. За цією силою розраховують потужність різання, міцність елементів різця і деталей приводу головного руху верстата, а також крутний момент на шпинделі.

За силою *Рх* розраховують потужність механізму подачі і міцність його деталей.

Сила *Ру* відштовхує різець від заготовки і сприяє вібраціям у горизонтальній площині. На її основі розраховують жорсткість кріплення заготовки. Вона сильно впливає на точність і геометричну форму обробленої поверхні.

Потужність різання

*Np= кВт.*



Потужність подачі

*Nn=кВт.*



Потужність головного приводу верстата *N=*, тут *ηверст* –коефіцієнт корисної дії механізму приводу верстата, він рівний переважно 0,80-0,85.



Дослідами встановлено, що на сили різання при точінні впливають оброблюваний матеріал, глибина різання (товщина шару металу, що знімається за один прохід) *t*, подача *s*, передній кут різця γ, кут в плані φ, радіус при вершині різця, швидкість різання, кут нахилу головної різальної кромки λ, швидкість різання, мастильно-охолоджуючі речовини. Сили різання визначають за емпіричними формулами, одержаними в процесі обробки результатів досліджень: *Pz=CpztxpzsypzvnzKpz; Px=CpxtxpxsypxvnxKpx; Py=CpytxpysypyvnyKpy*, тут *Срz,, Срх* і *Сру* – коефіцієнти, що рівні силам *Pz,Px,Py* коли всі інші величини рівні одиниці. Кожна з зазначених вище величин впливає на сили різання по різному. Коефіцієнт *Кр* визначається як добуток ряду коефіцієнтів

*Кр=КмрК φрКγ рКλрКhKrpKop*

1.Глибина різання і подача. Чим більші *t* і *s* тим більша площа поперечного перетину стружки і об’єм матеріалу, що деформується, тим більший опір матеріалу процесу стружкоутворення і процес різання відбувається з більшими силами різання. Проте при поздовжньому точінні на силу різання більше впливає глибина різання. Це пояснюється тим, що при збільшенні глибини різання зростає не тільки обсяг деформацій, але і ширина зрізу, сили нормального тиску і тертя як вздовж передньої так і задньої поверхні різця. При більшій подачі зростає обсяг деформацій, але ширина зрізу залишається попередньою, тобто сили нормального тиску і тертя не змінюються. Отже подача менше впливає на сили різання ніж глибина різання. Враховується цей вплив величинами *t* і *s* у відповідних степенях *xp* *yp*.

2. Швидкість різання по різному впливає на сили. При *v=*3-5 м/хв складові сил різання мають менші значення, при збільшенні *v* до 15-20 м/хв вони збільшуються і при *v*> 50 м/хв знову зменшується. Ріст сил різання в зоні швидкостей 25-60 м/хв пояснюється зменшенням наростоутворення. При послідуючому збільшенні швидкості різання зменшується коефіцієнт тертя і, відповідно, зменшуються сили різання. В діапазоні *v=*50-500 м/хв зменшення сил різання можна виразити функцією *Pz=Cv-n*.. Показник *п* залежить від умов роботи і приводиться в довідниках.

3. Оброблюваний матеріал. Фізико-механічні властивості оброблюваного матеріау і його стан багато в чому визначають процес стружкоутворення і супутні йому деформації, а отже і сили опору, які різець і верстат повинні подолати. Чим більні границя міцності σв і твердість матеріалу *Нв* тим більші сили різання. Це враховує коефіцієнт *Кмр*:

*Кмр=*- для сталі; *Кмр=*- для сірого чавуну; *Кмр=*- для ковкого чавуну. Показники степені *п* для різних сил різні.



4. Передній кут γ. При збільшенні переднього кута і зменшенні кута різання (δ=90-γ) процес стружкоутворення супроводжується меншими деформаціями, тобто різцю легше врізатись в оброблювану заготовку, разом з тим зменшуються сили тертя по передній поверхні. Все це приводить до зменшення сил різання. Враховується вплив переднього кута коефіцієнтом *Кγ*.

5.Головний кут в плані φ. При збільшенні головного кута в плані збільшується товщина зрізу *а* і зменшується його ширина *в*. Це приводить до зменшення сили *Ря*. Із збільшенням кута φ радіальна складова сили різання зменшується, а осьова – росте. При розрахунках *Pz,Pe* i *Px* вплив кута φ враховують поправочним коефіцієнтом *Кφ.*

6.Радіус заокруглення різця при вершині *r*. Шз збільшенням радіуса заокруглення складові сили різання *Pz* i*PY* зростають, а *Рх* зменшується. Це пояснюється тим, що для різних точок заокругленої ділянки різальної кромки кут φ не однаковий, причому для точок розташованих ближче до вершини він менший. Отже з ростом *r* кут φ зменшується, що веде до збільшення сил *Рz*i *Py*. Враховується цей вплив коефіцієнтом *Кr*/.

7. Кут нахилу головної різальної кромки λ практично мало впливає на *Рz*, але із збільшенням λ росте *Ру* і зменшується *Рх*. Врахову4ється цей вплив коефіцієнтом *Кλ*.

8. Мастильно-охолоджуючі речовини (МОР) впливають не тільки на зменшення температури в зоні різання, але і зменшують тертя, отже впливають на зменшення сил, що діють на інструмент, враховується цей вплив коефіцієнтом *Кор*.

***4. Сили різання і потужність при свердлінні***

Процес свердління складніший порівняно з точінням і відбувається у тяжчих для інструменту умовах: ускладнене відведення стружки і підведення МОР, в різних точках різальної кромки різні швидкості різання, а на осі ця швидкість рівна нулю. Проте на елементарній дільниці процеси відбуваються ті ж, що і про точінні. Свердло зазнає опору з боку оброблюваного матеріалу і силу *R* в певній точці А (рис.1) можна розкласти на три складові *Px,Py,Pz.*. Складова *Рх* напрямлена вздовж осі свердла. В цьому ж напрямку діє сила на поперечну кромку *Рп* і сила тертя стрічки об оброблену поверхню( вертикальна складова). Сума всіх цих сил, що діють вздовж осі *х*, називається осьовою силою, або силою опору подачі *Ро .* Дослідами встановлено, що

*Рп=*50-55%*Ро,Рх*=40-45%*Ро,*а *Рс*3%*Ро*.

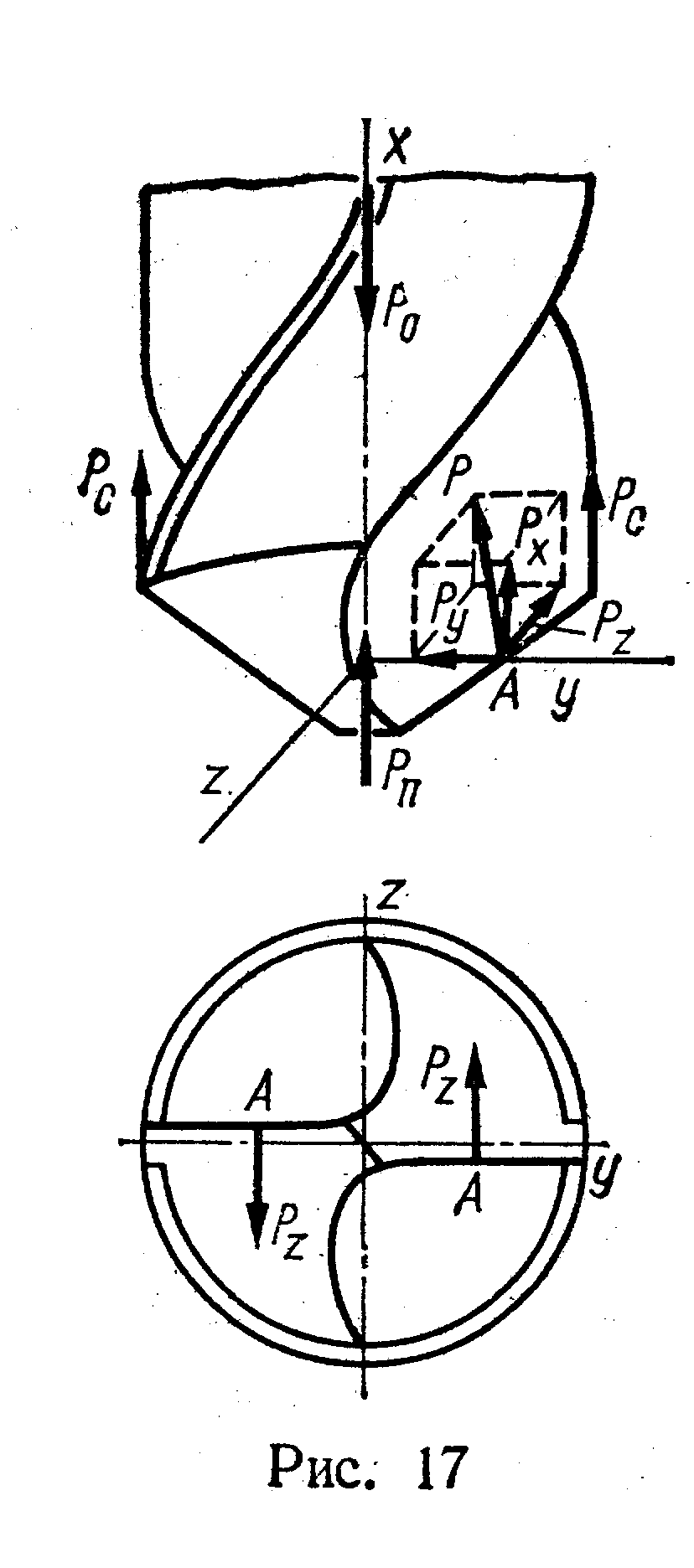


Рис.1 Сили різання при свердлінні.

Радіальні сили *Ру,* які рівні одна одній за величиною, але протилежні за напрямком, взаємно врівноважуються (при правильному заточуванні свердла).

Крутний момент який долає шпиндель свердлильного верстата, в основному (80-90%) створюється силою *Pz*. Крутний момент і осьову силу при свердлінні розраховують по емпіричних формулах: *M=CmDgsoyKm; Po=CpDgsoyKp* і при розс-вердлюванні *M=CmDgtxsoyKm;Po=CpDgtxsoyKp*. В цих залежностях *См* і *Ср* – коефіцієнти, що характеризують оброблюваний матеріал і умови різання, *g,x,y* – показники степенів. Вони різні для осьової сили і крутного моменту. *Км* і *Кр* - поправочні коефіцієнти, що характеризують конкретні умови роботи.

Потужність різання *N=*, потужність подачі *Nпод=*



***5. Сили різання при фрезеруванні***

Фрезерування – технологічна операція обробки плоских і фасонних поверхонь багатозубим різальним інструментом – фрезами. Головний рух – швидке обертання інструменту (фрези) навколо своєї осі, а рух подачі – повільне поступове переміщення заготовки, закріпленої на столі верстата. Режим фрезерування характеризується: 1) швидкістю різання *v=*, тут *D*- діаметр фрези в мм, *п*- число обертів фрези за хв; 2) подачею на зуб *sz,* подачею на оберт *so=szz*, де *z* - число зубів фрези; хвилинною подачею *sх =son=szzn*; 3) глибиною різання *t* мм; 4) шириною фрезерування *В* мм.



Процес фрезерування в порівнянні з точінням має свої особливості:

1. В роботі одночасно бере участь декілька лез, тому фрезерування більш продуктивний спосіб обробки ніж точіння;

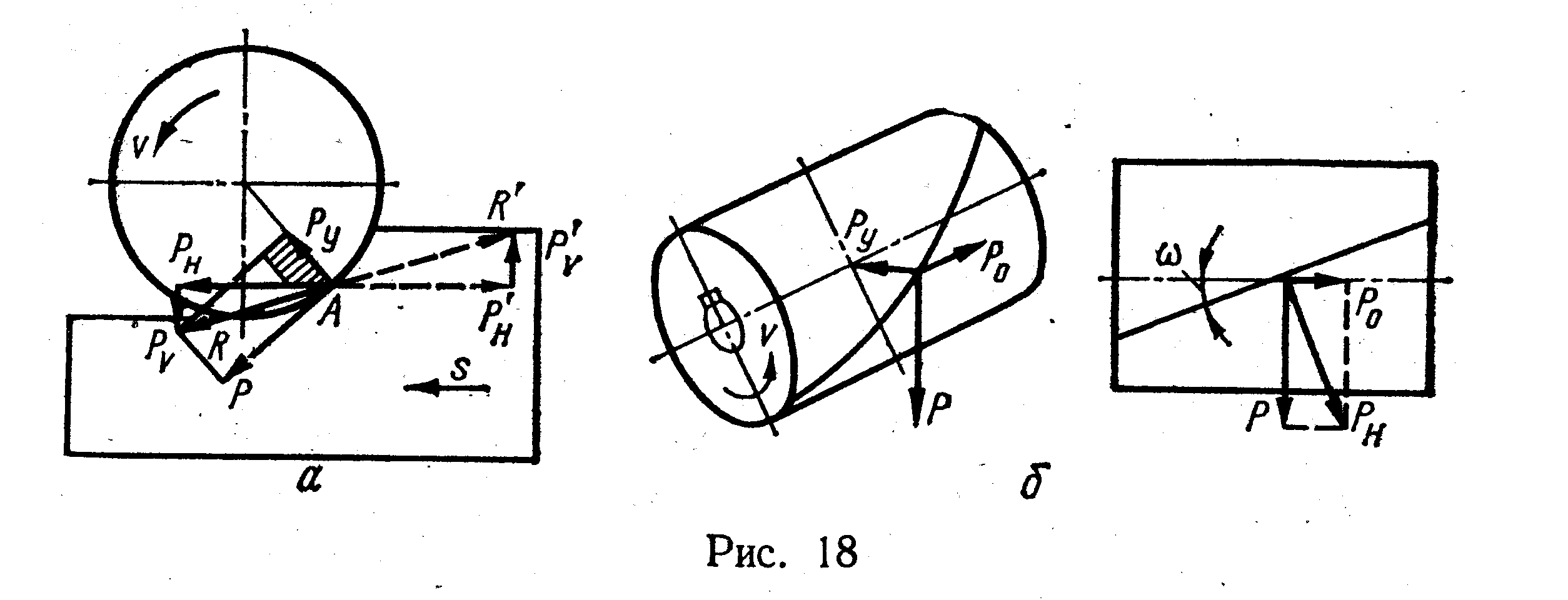
2. Леза фрези працюють з перервами, а корпус її часто має значну масу, що сприяє відведення тепла від лез;

3. Площа зрізу може коливатись в широких границях, тому сили різання мають змінне значення;

4. Наростоутворення тут проявляється в меншій мірі, ніж при роботі різцем, тому що зуб врізається в матеріал з ударами і є менше можливостей для міцного утримування наросту.

В залежності від розміщення зубів на поверхні фрези розрізняють торцеве і циліндричне фрезерування. Всі інші види фрезерування – це комбінація цих двох основних видів. Фрезерування циліндричними фрезами може бути зустрічним і попутнім.

В процесі різання на кожен зуб фрези діє сила опору матеріалу різанню. Фреза повинна подолати сумарні сили різання. При фрезеруванні прямозубою циліндричною фрезою рівнодіючу силу різання, прикладеною в деякій точці А (рис.19а), можна розкласти на колову силу *Р*, дотичну до траєкторії різальної кромки, і радіальну складову *Ру*, напрямлену вздовж радіуса. Залежно від напрямку фрезерування (зустрічне чи попутне) напрям і абсолютне значення сил змінюються. При фрезеруванні циліндричною фрезою з гвинтовим зубом в осьовому напрямку діє осьова сила *Ро*, і чим більший кут нахилу зуба ω, тим більше *Ро* (рис.2б).



*Рис.2. Сили різання при фрезеруванні.*

Колова сила *Р* виконує основну роботу різання. На основі неї визначають потужність різання. Радіальна сила *Ру*=(0,6-0,8) *Р* діє на підшипники шпинделя і згинає оправку, на якій кріпиться фреза.

Сумарну силу *R* (рис ) можна розкласти на дві складові: горизонтальну *Рг* і вертикальну *Рв*. Залежно від напрямку фрезерування (зустрічне чи попутне) напрям і числове значення сил змінюються. При фрезеруванні циліндричною фрезою з гвинтовим зубом в осьовому напрямку діє осьова сила *Р*о.

Колова сила *Р* виконує основну роботу різання. На її основі визначають потужність різання *Nріз*. Радіальна сила *Ру=(0,6-0,8)Р* діє в на підшипники шпинделя і згинає оправку, на якій кріпиться фреза. Горизонтальна сила діє на елементи кріплення заготовки і механізм подачі верстата. *Ро* =(0,35-0,55)*Р* діє на підшипники шпинделя і механізм поперечної подачі стола. *Р*в – вертикальна сила діє на механізм вертикальної подачі. При попутному фрезеруванні ця сила притискає заготовку до стола, а при зустрічному - вона напрямлена в гору і старається відірвати заготовку від стола.

У прямозубої фрези лезо входить в контакт з заготовкою одночасно всією активною довжиною, що викликає різкі коливання сил різання. Для забезпечення більш плавної роботи фрези її виготовляють з гвинтовим зубом (кут підйому ω). При певних умовах можна забезпечити повну плавність роботи фрези, коли фреза незалежно від кута повертання знімає стружку постійного поперечного перетину (рівномірне фрезерування).Умова рівномірного фрезерування *C=*, де *В* – ширина фрезерування, *tос* – осьовий крок фрези ; тоді *С=*. Для забезпечення рівномірного фрезерування необхідно, щоб *С* було цілим числом, тобто, щоб площа поперечного перетину стружки, що знімається фрезою була постійною і не залежала від кута повороту фрези. Практично такі умови роботи забезпечити трудно. Середнє значення колового зусилля визначається по емпіричній залежності



*Рz=*



Тут *СР* – залежить від оброблюваного матеріалу і умов обробки, *Z* – число зубів фрези, *D*- діаметр фрези, *v-* швидкість різання, *t-* товщина шару металу, що зрізується, *sz*- подача на зуб фрези і *К*- поправочний коефіцієнт, що враховує конкретні умови роботи ( як при точінні). Вплив діаметра фрези пояснюється тим, що з його збільшенням, при тому ж значенні Z, зменшується число зубів, що одночасно приймають участь в роботі, зменшується площа зрізу і, відповідно, сила різання. З збільшенням *t* i Z при віх інших рівних умовах збільшується число зубів, що одночасно беруть участь у різанні, росте сумарна площа зрізу і збільшується сила різання.

Крутний момент на шпинделі *М,* потужність різання *N=*.



***6. Сили різання при шліфуванні***

Процес шліфування має свої особливості, які впливають на величину сил:

1. Шліфування здійснюється при великих швидкостях різання (20-40 м/сек), а при швидкісному фрезеруванні 50-50 м/сек і знімаються стружки малих перетинів.

2. Шліфувальний круг є багатолезовим інструментом. Він складається з різних елементів – абразивних зерен, з’єднаних зв’язкою в одне ціле. В роботі одночасно бере участь велика кількість зерен. Зерна – багатогранник неправильної форми з заокругленими вершинами. Тому зерна працюють з великими кутами різання >900, а інколи 130-140о.

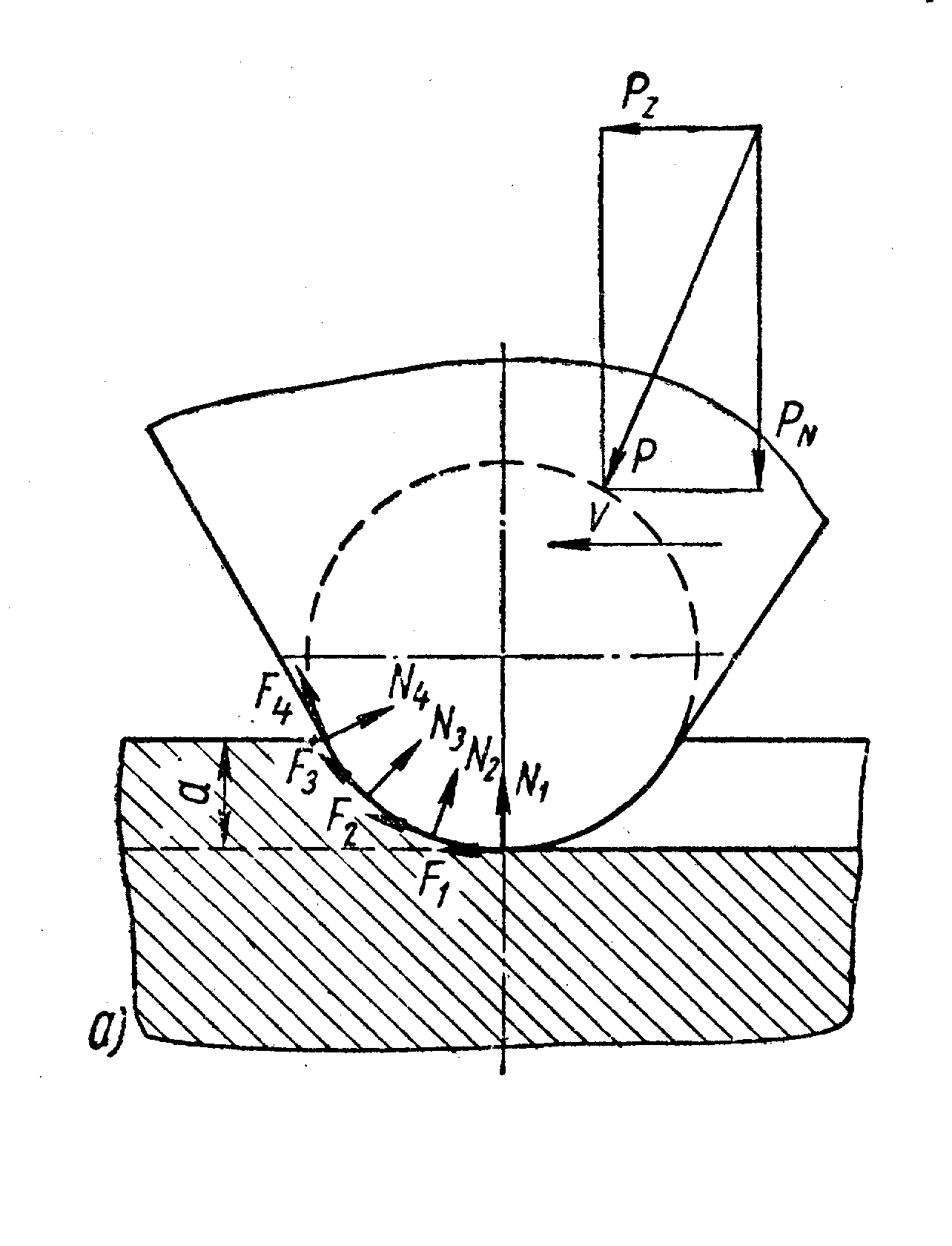
3.У зв’язку з великою швидкістю різання і великими кутами різання процес шліфування супроводжується високими температурами (1000-1500 оС).

4. Абразивний інструмент немає суцільного леза. На твірній круга знаходиться ряд зерен на деякій віддалі одне від другого і кожне зерно знімає з поверхні свою стружку. Тому процес шліфування є по суті процес царапання.

5. В ході шліфування можна міняти тільки елементи режиму різання і неможливо поміняти геометрію інструменту (α,β,γ). Тому керувати процесом шліфування складніше.

6. Абразивний інструмент має здатність до певної міри в ході роботи самозаточуватись, яке проходить шляхом руйнування і викришування затуплених зерен, в результаті чого вступають в роботу нові гострі зерна.

Сили різання при шліфуванні відносно невеликі, але потужність велика за рахунок великої швидкості. Схема роботи абразивного зерна показана на рис. 3



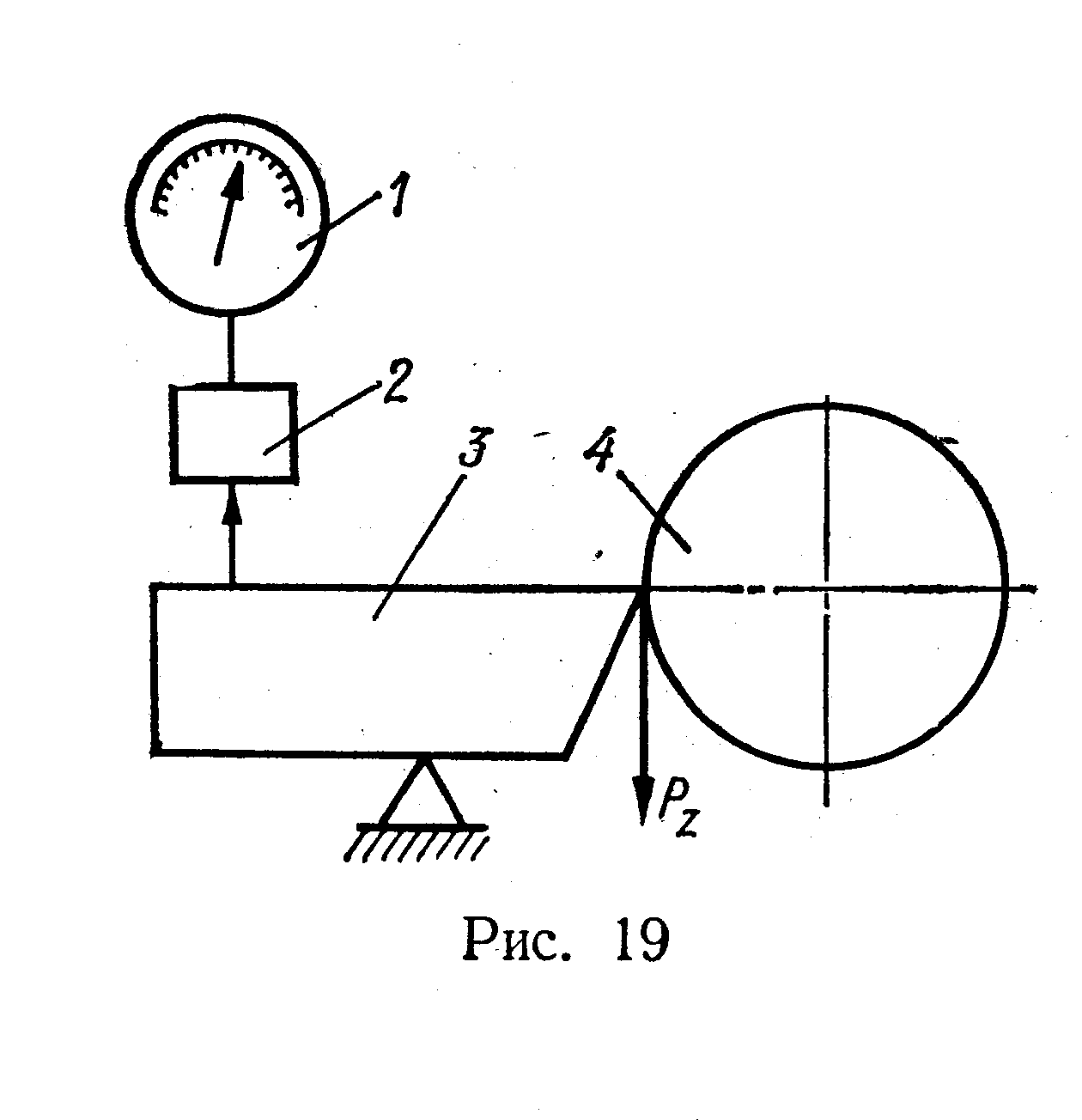
*Рис. 3*

Кут різання δ=130-140о, радіус *r*=2-5мкм÷7-25мкм в залежності від зернистості круга. Тому *РN= 1,5-3PZ*. Кругова сила *PN* визначається за емпіричною залежністю *PZ=CР Vд0,7 t0,6s0,6.* Тут *СР* - коефіцієнт, який залежить від властивостей оброблюваного матеріалу, так при круглому шліфуванні загартованої сталі з нормальною швидкістю при діаметрі круга 500 мм і ширині 40 мм *СР*=21,6, а при шліфуванні чавуну -19,6.

В довідниках приведені дані для розрахунку потужності різання при круглому зовнішньому шліфуванні з поздовжньою подачею, що проводиться за формулою *N=CNVdrtxsydq*. Тут *d*- діаметр шліфування.

***7. Методи і прилади для вимірювання сил різання***

1. Метод зрівноважування заключається в тому, що вимірювальну силу зрівноважують протилежно напрямленою силою. Схема такого вимірювання подана на рис.4.Тут 1-зрівноважувальний пристрій; 2-масштабний пристрій; 3-різець; 4-заготовка. Сила *PZ*, що виникає при точінні, повертає різець, що впирається в масштабний пристрій 2 ( для збільшення масштабу показів і точності вимірювання) і в зрівноважу вальний пристрій 1. На точність вимірювання впливає тільки сила тертя в шарнірах.



*Рис. 4*

2. Метод гальмування полягає у вимірюванні крутного моменту за допомогою гальмівних пристроїв. Вимірюють крутний момент у два заходи: З початку виконують різання, реєструючи при цьому, наприклад, за допомогою амперметра силу струму електродвигуна верстата. Потім на шпиндель верстата встановлюють гальмо з сило вимірювальним пристроєм. Не змінюючи швидкості обертання шпинделя, гальмо навантажують доти, доки амперметр не покаже таж значення струму, що при різанні. Перевага цього методу у відносні простоті, але він не забезпечує високої точності і дозволяє вимірювати тільки одну складову сили різання *PZ*.

3. Визначення сили різання за потужністю приводу верстата, що витрачається в процесі різання. При цьому вимірюється ватметром потужність, яку розвиває електродвигун верстата при різанні, і на її основі визначають тангенціальну складову сили різання. Тут необхідно знати к.к.д. верстата на різних режимах роботи і можна визначити тільки силу*PZ*.

4. Метод пластичної деформації зразка. Між передавальною системою динамометра, яка закінчується сталевою кулькою, і його опорною площиною встановлюють пластинку з відносно м’якого металу (цинк, свинець, мідь...). Під час різання кулька залишає відбиток на пластинці по розмірах якого визначають силу різання. Цей метод не враховує динаміки процесу різання.

5. Метод пружної деформації ґрунтується на вимірюванні пружної деформації робочого елемента динамометра під дією сили різання. Ця деформація передається перетворювачам (датчикам), в яких виникають різні механічні, гідравлічні, пневматичні, магнітні та електричні явища. Аналіз тих явищ дає точне уявлення про сили, що виникають в процесі різання. Такі динамометри з тензодатчиками мають високу чутливість, можуть міряти декілька складових, надійні і зручні в експлуатації.

***8. Особливості процесу різання пластмасс***

Особливості процесу обробки пластмас різанням пов’язані з їх фізико-механічними властивостями, які залежать від виду зв’язуючих і наповнюючих матеріалів. Особливо силь впливає наповнювач, його вид, структура і орієнтація. Теплопровідність пластмас в 500-600 разів менша теплопровідності металів, що затрудняє їх обробку, хоч твердість пластмас не висока – 30-600Н/мм2.

Процес утворення стружки залежить від властивостей пластмас і умов різання. При різанні термореактивних пластмас утворюється стружка надлому, наріст не утворюється

Різання шаруватих пластмас може проводитись вздовж і поперек напов-нювача. В першому випадку утворюється стружка подібна до зливної, в іншому випадку – стружки надлому (дрібна).Із спрацюванням інструмента стружка стає дрібнішою і у зв’язку з підвищенням температури в зоні різання змінюється її забарвлення. Кварцові і склоподібні наповнювачі спричиняють інтенсивне зношування інструменту.

Характерним при різанні пластмас є те, що смоли, що входять до їх складу, в процесі різання оплавляють і покривають поверхню різця внаслідок чого затрудняється відведення стружки і погіршується якість обробленої поверхні.

Пластмаси обробляють на металорізальних та деревообробних і спеціальних верстатах. При цьому застосовуються інструменти виготовлені з надтвердих матеріалів, твердих сплавів, швидкорізальної та інструментальної сталі.

Основні види обробки пластмас:

1. Розрізання. При товщині листа до 3 мм застосовують важільні, або шарнірні ножиці, більш товсті листи ріжуть на деревообробних верстатах.

2. Точіння всіх видів конструкційних пластмас проводять на універсальних металорізальних верстатах, При цьому використовують різці з твердих сплавів ВК2, ВК3М, ВК4 з заднім кутом 15о-25о, що забезпечує максимальну стійкість різця. Передній кут залежить від марки оброблюваного матеріалу, способу одержання заготовки і умов обробки. При різанні вздовж волокон γ=10о-20о, поперек волокон γ=0-5о. При точінні деталей з пластмас без наповнювача (орг-скло, вініпласт) γ=0-20о. Швидкості різання: оргскло, інструмент з сталі HSS V=70-180 м/хв., вініпласт, інструмент з сталі HSS V=150-250м/хв., гетінакс інструмент з ВК8 V=150-250 м/хв., інструмент з сталі HSS V=100-200 м/хв., текстоліт – інструмент з ВК6, швидкість різання 200-400 м/хв., склотекстоліт – інструмент з ВК2, швидкість різання 150 – 250 м/хв.

3. Свердління ведеться спіральними свердлами з кутом при вершині 118о-120о і заднім кутом 10о-12о. В них підточують перетинку до 0,08-0,1*D* і зшліфовують стрічку по ширині до 0,6-0,8 мм на довжині рівній глибині різання. Швидкість різання 40-50 м/хв., подача – 0,06-0,1 мм/об. Отвори діаметром більше 40 мм вирізують вирізним різцем .

Поліхлорвініл свердлять інструментом з швидкорізальної сталі з такими геометричними параметрами: 2φ=90-110о, α=15-25о- для наскрізних отворів і 2φ=120-130о і α=15-25о для глухих отворів. Особливість заточування полягає в тому, що після одержання цих кутів на головних різальних кромках з боку передньої поверхні бруском, намащеним маслом роблять фаску *в*=0,05-0,1 мм, витримавши передній кут γ1=0о. Режим різання *V* =30-60 м/хв.; *S=*0,1-0,5мм/об. Отвори діаметром більше 20мм вирізують циркульними різцями.

Гетинакс свердлять стандартними свердлами з швидкорізальної сталі такими кутовими параметрами: 2φ=90о;α=20о при подачі 0,10,4 мм/об. І швидкості різання 30-35 м/хв. (висвердлювання отворів діаметром від 5 до 20 мм. При обробці отворів діаметром більше 40мм і товщині листа до 15 мм застосовують вирізні різці. Охолоджують інструмент стиснутим повітрям.



Для свердління листів з текстоліту перпендикулярно до шарів наповнювача використовують стандартні свердла з Р9 і Р6М5. Свердла діаметром 5-10мм заточують під кутами : 2φ=70о;α=16о. Для свердл діаметром більше10ммдоцільно робити подвійну заточку під кутами 2φ=118 і 2φо=70о (рис. ). Кут 2φо=70о необхідно забезпечити на довжині 2-3 мм. Оптимальними режимами свердління текстоліту є швидкість 40-50 м/хв. і подача 0,1-.4 мм/об. Діаметр свердла повинен бути більший від номінального на 0,05-0,1мм., а ширину стрічки треба зменшити до 0,3-0,5 мм.

Склопластики найважче обробляються різанням, тому що тут використовують свердла з твердих сплавів. Можна використати і швидкорізальні свердла з подвійною заточкою 2φ=70о і 2φо=35о, γ=10о, α=30о, довжина перемички – 1мм. Для свердління отворів діаметром 4-16 мм рекомен-дується швидкість різання 20-30 м/хв. і подача 0,1-0,4 мм/об.

4. Нарізування різі. Зовнішні і внутрішні різі на виробах з пластмас нарізають ручними інструментами і на металорізальних верстатах. Для внутрішніх різей використовують азотовані, або хромовані мітчики з переднім кутом γ=-5-10о.

На деталях з термопластичних мас нарізують різь різцями з швидкорізальної сталі з переднім кутом γ=5-0о, заднім кутом α=20о і боковим заднім кутом αбок=10о. Глибина різання повинна бути 0,18-0,25 мм , а швидкість 10-20 м/хв. У деталях з термореактивних шаруватих пластмас різьбу нарізають різцями з ВК6, ВК8 з кутами γ=0о, α=8-20о при швидкості різання 15-25 м/хв. і глибині різання 0,15-0,25мм.

5. Фрезерування застосовують для обробки плоских і фасонних поверхонь, пазів, фасок..., яке виконують на швидкохідних вертикально і горизонтально-фрезерних верстатах, обладнаних спеціальними пристроями для відсмоктування пилу і стружки, а також мають спеціальні пристрої для закріплення заготовки.

Для забезпечення плавного без ударного різання використовують фрези з великим кутом нахилу різальної кромки до осі (ω=20о-25о). Органічне скло фрезерують фрезами з швидкорізальної сталі з числом зубів 16 і ω=20о при товщині знімає мого шару 2,5-5мм (чорнове фрезерування) і 0,5 мм при чистовому фрезеруванні. Як охолоджуючу речовину тут використовують водний розчин мила. Деталі з шаруватих термореактивних пластмас обробляють фрезами з швидкорізальних сталей з числом зубів *Z*=5 і кутом нахилу ω=55о. Глибина різання за один прохід 1-2 мм. Склопластики обробляють фрезами з гвинтовими пластинками твердих сплавів ВК6; ВК6М; ВК8. Режими різання приведені в таблиці 1.

*Таблиця 1.*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Пластмаса | Матеріал  зубів фрези | Кути різця | | Режим різання | |
| α | Γ | V м/хв | Sz мм\зуб |
| Органічне скло  Поліхлорид  Гетинакс,текстоліт  Склоттекстоліт | НSS  HSS  HSS  HSS  ВК6 | 10  25  10  10  5 | 20  20-25  20  20  5 | 180-1000  200-1000  180-370  40-180  150-180 | 0,1-0,25  0,10-0,2  0,05-0,5  0,10-1,0  0,04-0,15 |

6. Шліфування. Вироби виготовлені з термореактивних пластмас шліфують кругами з м’якою зв’язкою зернистістю 30-40. Для кращої чистоти застосовують обробку наждачним полотном, або папером відповідної зернистості.

Вироби з термопластичних пластмас шліфують кругами з фланелі, або сукна, покритими пастою з муленої пемзи і водою. Органічне скло шліфують спеціальними пастами, або наждачним папером зернистістю 150-200. Швидкість шліфування 20-40 м/сек. При менших швидкостях шкурки швидко засалюються.

7. Полірування. Полірують пластмасові вироби бавовняними, байковими і суконними кругами, а закінчують кругами з бязі, байки і мусліну. Використовують пасти ГОІ для термореактивних пластмас і ВІАМ-2 для термоп-ластичних. Швидкість шліфування для термопластичних пластмас 10-40 м/сек., а для термореактивних -15-40 м/сек.