

1 ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ОСНОВИ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ РІЗАННЯМ

Механічна обробка металів різанням - це процес зрізання різальним інструментом з поверхні заготовки шару металу у вигляді стружки з метою отримання потрібної геометричної форми, точності розмірів, взаємного положення і шорсткості поверхонь деталі.

1.1 Класифікація рухів в металорізальних верстатах

Для здійснення процесу різання із заготовки шару металу різальному інструменту і заготовці, які встановлюються і закріплюються в робочих органах верстатів, необхідно надати певний комплекс рухів. Рухи робочих органів верстатів поділяються на рухи *різання, установчі, допоміжні та взаємопов'язані*.

Рухами різання називають такі рухи, які забезпечують знімання з заготовки шару металу або викликають зміну стану обробленої поверхні заготовки. До них належать *головний рух та рух подачі*.

Головний рух забезпечує безпосереднє знімання стружки. Він визначає швидкість деформування при різанні. Рух подачі забезпечує врізання інструмента в матеріал заготовки, тобто безперервність процесу різання.

Головний рух найчастіше буває обертальним (токарні, свердлильні, фрезерні, шліфувальні верстати), поступальним (протяжні верстати) або зворотно-поступальним (довбальні та стругальні верстати). Він може надаватися заготовці, (токарні, поздовжньо-стругальні верстати), інструменту (свердлильні, фрезерні, шліфувальні, поперечно-стругальні верстати) або і заготовці, і інструменту одночасно (наприклад, при свердлінні дрібних отворів або нарізанні різьби на токарних верстатах-автоматах).

Рух подачі у більшості випадків є поступальним. Він може надаватися як інструменту (токарні, свердлильні верстати), так і заготовці (фрезерні, довбальні, стругальні, плоскошліфувальні верстати). В деяких випадках рух подачі може надаватися одночасно як інструменту, так і заготовці. Наприклад, при круглому шліфуванні валів рухами подачі є поздовжнє пересування шліфувального круга (інструмента) і обертання заготовки. Останній рух називається коловою подачею.

У верстатах з обертальним головним рухом рух подачі неперервний, отже і процес різання також неперервний. У верстатах із зворотнопоступальним головним рухом, де робочий рух чергується з холостим, рух подачі здійснюється перед початком кожного робочого ходу і, таким чином, процес різання є переривчастим.

В металообробці швидкість головного руху позначають v , величину подачі - s .

Рухи, які забезпечують таке положення інструмента відносно заготовки, при якому з неї зрізається певний шар матеріалу, називають установчими.

Допоміжні рухи робочих органів верстатів не мають прямого відношення до процесу різання і потрібні, головним чином, для підвищення продуктивності верстатів. Це такі рухи як транспортування заготовки, закріплення її на верстаті, швидкі переміщення робочих органів тощо.

Взаємопов'язаними рухами називаються рухи, які забезпечують певний взаємний зв'язок між заготовкою та інструментом при деяких видах робіт. Наприклад, при точінні чи фрезеруванні різьби за кожний оберт заготовки інструмент повинен пересунутись вздовж заготовки на крок різьби; при фрезеруванні зубчастих коліс черв'ячними фрезами повинен забезпечуватись рух обкатки, тобто, за один оберт фрези заготовка повинна повернутись на число зубів, рівне числу заходів фрези.

1.2 Схеми обробки

Для будь-якого процесу різання можна скласти схему обробки, на якій умовно показують оброблювану заготовку, її установлення і закріплення на верстаті, положення інструмента відносно заготовки, а також рухи різання (рис. 1). Інструмент показують у положенні, що відповідає закінченню обробки поверхні заготовки. Оброблену поверхню виділяють іншим кольором або потовщеними лініями. На схемах обробки показують характер рухів різання та їх технологічне призначення, використовуючи умовні позначення: поздовжню подачу s_{noz} , поперечну - s_{non} , колову - $s_{кол}$, вертикальну - s_e та ін. В процесі різання розрізняють оброблювану поверхню - 1, оброблену - 2 і поверхню різання 3.

1.3 Режим різання

Основними елементами режиму різання є *швидкість різання, подача і глибина різання*.

Швидкістю різання v називають відстань, яку проходить точка різальної кромки інструмента відносно заготовки за одиницю часу. Швидкість різання має розмірність $м/хв$ або $м/с$. Якщо головний рух обертальний, то швидкість різання, $м/хв$:

$$v = \pi D n / 1000,$$

де D - діаметр органу, який здійснює головний рух, мм;

n - частота обертання цього органу за хвилину.

Якщо головний рух зворотно-поступальний, а швидкості робочого і холостого ходів різні, то швидкість різання, $м/хв$:

$$v = L m (k + 1) / 100,$$

де L - довжина ходу інструмента чи заготовки (при поздовжньому струганні), мм;

m - число подвійних ходів інструмента чи заготовки за хвилину;

k - коефіцієнт, який показує відношення швидкостей робочого і холостого ходів.

Якщо ці швидкості однакові, то остання формула матиме вигляд:

$$v = 2Lm/100$$

Подачею s називають шлях точки різальної кромки інструмента відносно заготовки в напрямі руху подачі за один оберт чи за один хід заготовки або інструмента. Подача в залежності від технологічного способу обробки має розмірність: *мм/об.* - для точіння і свердління; *мм/подв.хід* - для довбання, стругання та шліфування; *мм/зуб.* - для фрезерування.

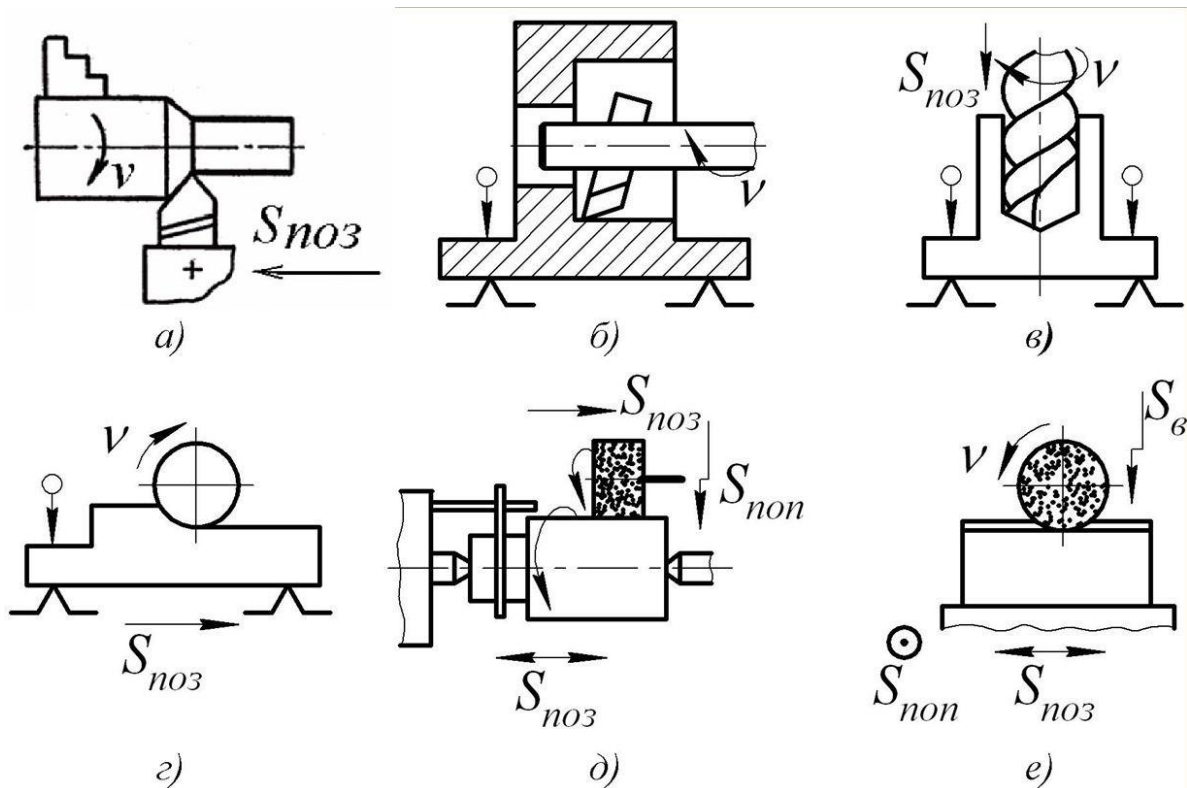


Рисунок 1 - Схеми обробки заготовок: а - точінням; б - розточуванням; в - свердлінням; г - фрезеруванням; д - шліфуванням на круглошліфувальному верстаті; е - шліфуванням на плоскошліфувальному верстаті

Глибиною різання i називають відстань між оброблюваною і обробленою поверхнями заготовки, виміряну перпендикулярно до останньої, тобто товщину матеріалу, що знімається за один прохід. Глибина різання має розмірність *мм*. При точінні $t = (D_{заг} - d)/2$, де $D_{заг}$ — діаметр заготовки, *мм*; d - діаметр обробленої деталі, *мм*. При свердлінні $t = D_{св}/2$, де $D_{св}$ - діаметр свердла, *мм*; при розточуванні або розсвердлюванні $t = \frac{D_1 - D_0}{2}$, де D_1 - діаметр обробленого отвору, *мм*; D_0 - діаметр початкового отвору, *мм*.

1.4 Геометричні параметри різального інструмента

Геометричні параметри різального інструмента розглянемо на прикладі токарного прямого прохідного різця. Геометричні параметри інших різальних інструментів аналогічні цим параметрам.

Токарний різець (рис. 2) складається з *робочої частини (головки) 2* і *стрижня (тіла) 6*, який призначений для закріплення різця в різцетримачі верстата. Різальна робоча частина заточується так, щоб утворити на ній такі поверхні: *передню 5*, по якій сходить стружка, *головну задню 7*, обернену до поверхні різання заготовки, *допоміжну задню 1*, обернену до обробленої поверхні заготовки.

Перетин передньої і головної задньої поверхонь утворює *головну різальну кромку 4*, а перетин передньої і допоміжної задньої поверхонь — *допоміжну різальну кромку 3*. Перетин головної та допоміжної різальних кромок утворює *вершину різця 8*.

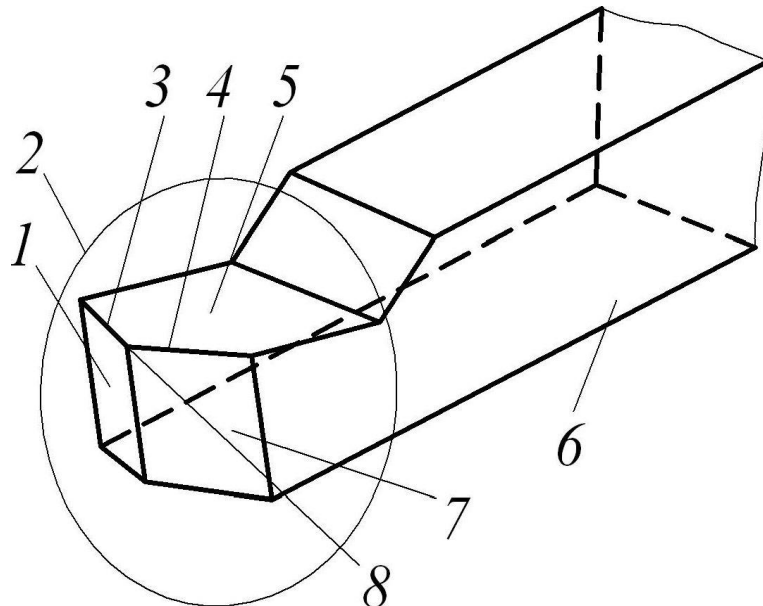


Рисунок 2 - Основні частини і елементи токарного різця

Інструмент заточують по передній і задніх поверхнях. З метою вивчення кутів, під якими розташовуються поверхні різальної частини інструмента відносно одна одної, введена статична система координат (рис. 3).

Основна площина — це площина, проведена крізь точку різальної кромки різця перпендикулярно до напрямку швидкості головного руху. Вона паралельна поздовжньому чи поперечному переміщенню різця під час роботи верстата.

Площиною різання називають площину, дотичну до поверхні різання і перпендикулярну до основної площини. Площина, перпендикулярна лінії перетину основної площини і площини різання $A - A$, називається *головною січною площиною* $N - N$. Допоміжна січна площина $N_1 - N_1$ перпендикулярна до проекції допоміжної різальної кромки на основну площину. Кути різця, вимірювані в головній січній площині, називаються *головними*, а вимірювані в допоміжній січній площині - *допоміжними*.

Кути інструмента суттєво впливають на продуктивність процесу різання і якість обробки.

Головний передній кут γ вимірюють в головній січній площині між передньою поверхнею різця і площиною, перпендикулярною до площини різання. Цей кут відіграє важливу роль у процесі різання. З його збільшенням

полегшується врізання інструмента в заготовку, зменшується деформація зрізаного шару, сили різання і витрати потужності. Одночасно полегшуються умови сходження стружки і підвищується якість обробки. Однак, надмірне збільшення кута γ призводить до послаблення міцності різальної частини різця, збільшення його спрацювання, погіршення умов відведення теплоти від різальної кромки. В практиці різання цей кут становить від -10 до $+20^\circ$. Менші значення переднього кута приймають при обробці крихких і твердих матеріалів, більші — при обробці заготовок з м'яких і в'язких матеріалів.

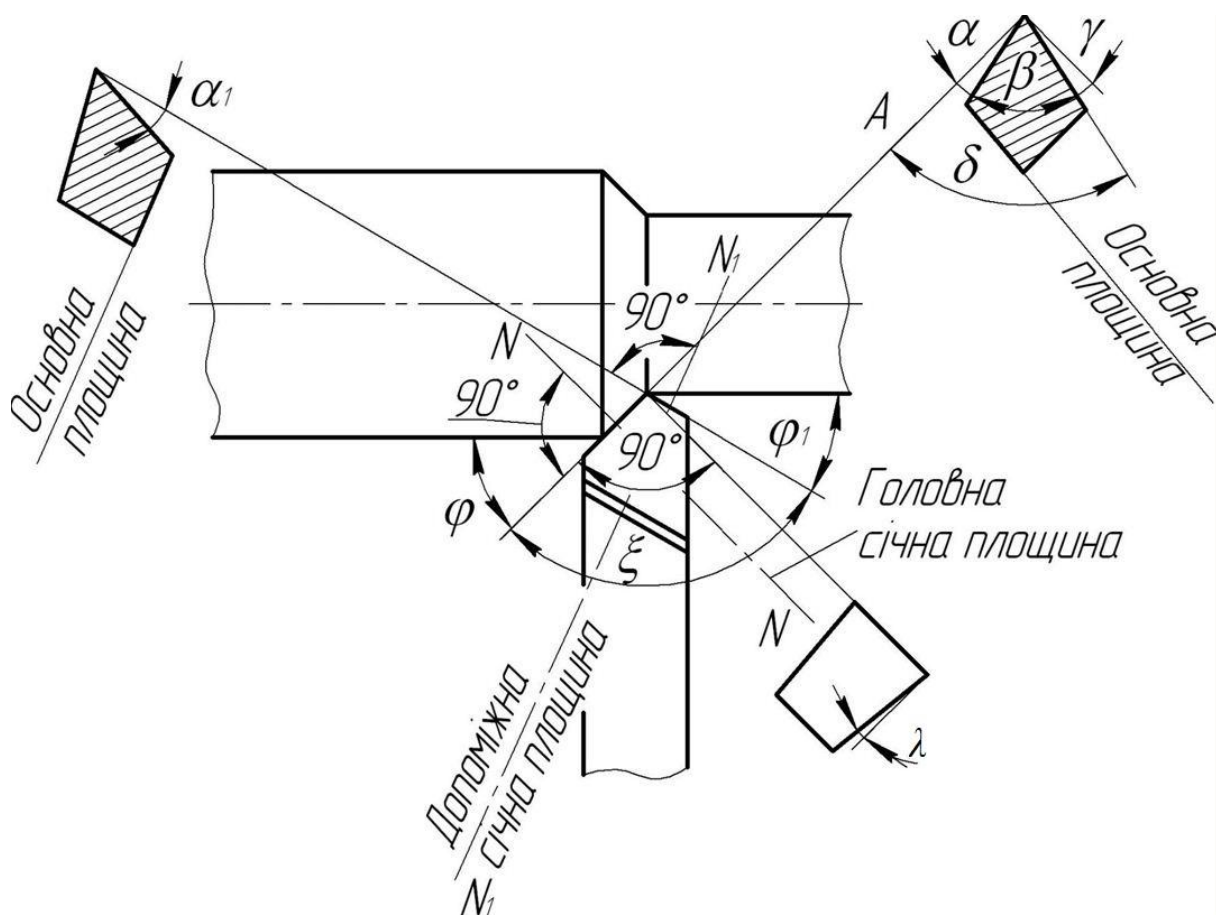


Рисунок 3 - Куты різця

Головний задній кут α вимірюють між головною задньою поверхнею і площиною різання. Його наявність зменшує тертя задньої поверхні різця об поверхню різання, що зменшує спрацювання інструмента по головній задній поверхні. Однак його надмірне збільшення призводить до зниження міцності різального леза. На практиці кут α становить $6...12^\circ$.

Кут загострення β - кут між передньою і задньою поверхнями різця.

Кут різання δ - кут між передньою поверхнею різця і площиною різання.

Між головними кутами різця можуть бути такі співвідношення:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$

$$\alpha + \beta = \delta$$

$$\delta + \gamma = 90^\circ$$

Головний кут в плані φ - кут в основній площині між площиною різання і напрямом руху подачі. Він суттєво впливає на шорсткість обробленої поверхні заготовки. З його зменшенням шорсткість знижується, але зростає сила різання і деформування заготовки. Зазвичай кут φ вибирають $30 \dots 90^\circ$.

Допоміжний кут в плані φ_1 - це кут в основній площині між проекцією допоміжної різальної кромки на основну площину і напрямом, зворотним напрямку подачі. Із зменшенням цього кута знижується шорсткість обробленої поверхні з одночасним збільшенням міцності вершини різця.

Кут нахилу основної різальної кромки λ - кут в площині різання між головною різальною кромкою і лінією, проведеною через вершину різця паралельно основній площині. Цей кут (λ) може бути додатним (вершина - найнижча точка), нульовим (різальна кромка паралельна основній площині). Зі збільшенням цього кута якість обробленої поверхні погіршується. Від кута нахилу основної різальної кромки залежить напрям сходу стружки.

1.5 Процес стружкоутворення при різанні металів та явища, що його супроводять

Різання металів - це складний процес взаємодії різального інструмента і заготовки, під час якого відбувається деформування шару металу і зсув його окремих елементів з поверхні заготовки у вигляді *стружки*.

В залежності від оброблюваного металу та умов різання утворюються три види стружки: *зливна*, *сколювання* та *надлому*. Зливна стружка утворюється при обробці пластичних металів зі значними швидкостями різання і невеликими подачами і має вигляд суцільної стрічки, звитої в спіраль, з чистою і гладенькою прирізцевою поверхнею (рис. 4, а). На її зовнішній поверхні є невеликі пилкоподібні зазубрини. Стружка сколювання (рис. 4, б) утворюється при обробці металів середньої твердості з невисокими швидкостями різання і значними подачами і являє собою стрічку з гладенькою прирізцевою стороною і пилкоподібною протилежною з чітко вираженими зазубринами. Стружка надлому (рис. 4, в) утворюється при різанні крихких металів (чавуну, бронзи, деяких алюмінієвих сплавів) і складається з окремих, не зв'язаних між собою елементів.

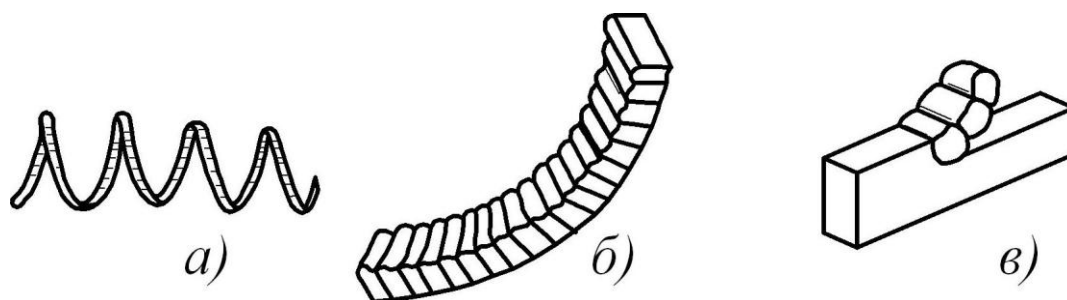


Рисунок 4 — Види стружок

Процес різання металів супроводжується наступними явищами:

- збільшенням міцності та твердості (*наклепом*) поверхневого шару заготовки внаслідок його пружного та пластичного деформування і виникнення в ньому напружень, які здатні спотворювати геометричну форму оброблених поверхонь, знижувати точність їх взаємного положення і розмірів;

- значним виділенням теплоти внаслідок пружно-пластичного деформування в зоні стружкоутворення і тертя стружки та заготовки об поверхні інструмента. Наслідком цього явища є нагрівання заготовки та інструменту, що знижує стійкість останнього та спричиняє погіршення точності і якості деталей. Для зменшення негативного впливу теплоти на процес різання обробку ведуть в умовах застосування мастильно-охолодної рідини, яка крім охолодження завдяки мастильним властивостям зменшує тертя між інструментом і заготовкою й роботу деформації;

- *наростоутворенням*, яке полягає в тому, що внаслідок адгезійної взаємодії, великого тертя між стружкою та різцем і значного виділення теплоти на передній поверхні різця біля різальної кромки затримується і дуже міцно укріплюється шар металу стружки, який називається *наростом*. Частинки наросту постійно виносяться стружкою й обробленою поверхнею заготовки, інколи нарост повністю руйнується й утворюється знову. Маючи високу твердість, нарост здатен різати метал, він захищає вершину різця і різальну кромку від передчасного спрацьовування, поліпшує відведення теплоти із зони різання і при чорновій обробці його вплив на процес різання є позитивним. Але, оскільки точність і якість обробки при утворенні наросту погіршуються, то при чистовій обробці його слід уникати.

1. Сили різання і потужність, що затрачуються при точінні

Сили різання при точінні. При зрізанні стружки різець долає опір оброблюваного матеріалу різанню і сили тертя стружки, що сходять, об передню поверхню різця та задніх його поверхонь об оброблювану заготовку. Рівнодійну сил, що діють на різець у процесі різання, називають рівнодійною силою різання R . При поздовжньому точінні рівнодійну R розкладають на три взаємно перпендикулярні складові P_x, P_y, P_z (рис. 8).

Сила P_z , що діє в площині різання в напрямі головного руху, називається *дотичною силою*, або *силою різання*. Сила P_y , що діє перпендикулярно до осі оброблюваної заготовки, називається *радіальною силою*. Силу P_x , що діє вздовж осі заготовки паралельно напрямку поздовжньої подачі, називають *осьовою силою* або *силою подачі*.

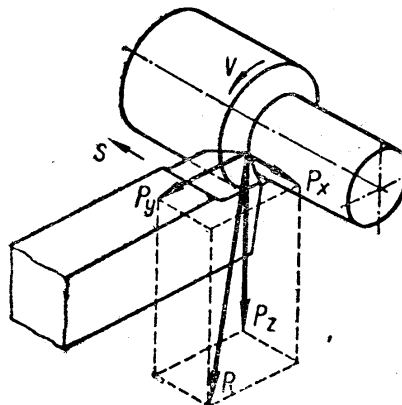


Рис. 8. Схема сил різання при поздовжньому точінні

Рівнодійна R , H — це діагональ паралелепіпеда, побудованого на складових силах, і може бути визначена з виразу

$$R = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}$$

Сила P_z , H , створює на шпинделі верстата крутний момент, Н.м,

$$M_{кр} = P_z D/2000,$$

де D — діаметр оброблюваної заготовки, мм.

За силою P_z і крутним моментом $M_{кр}$ розраховують на міцність коробку швидкостей верстата.

Силу різання, H , при точінні визначають за формулою

$$P_z = C_{P_z} t^{x_{P_z}} s^{y_{P_z}} v^{n_{P_z}} K_{P_z},$$

де значення коефіцієнтів C_{P_z} , x_{P_z} , y_{P_z} , n_{P_z} , K_{P_z} для різних матеріалів і конкретних умов обробки наведено в довідниках.

Сила P_y намагається відтиснути різець від оброблюваної деталі, що зменшує точність обробки. Тому при обробці довгих і тонких деталей слід працювати різцями з великими кутами в плані, аж до $\varphi=90^\circ$, при якому сила P_y має мінімальне значення.

По силі P_x розраховують на міцність механізм подачі верстата.

Значення P_x і P_y беруть у частках від P_z . Співвідношення P_x/P_z і P_y/P_z залежать від геометричних параметрів різця, елементів режиму різання і спрацювання різця. При точінні гострим різцем при $\gamma=15^\circ$, $\varphi=45^\circ$, $\lambda=0$, $P_y \approx (0,3 \dots 0,5)P_z$; $P_x = (0,15 \dots 0,3)P_z$. Із збільшенням подачі відношення P_x/P_z зростає.

Потужність, кВт, що витрачається на різання при поздовжньому точінні (ефективна потужність),

$$N_e = \frac{P_z v}{60 \cdot 10^3} + \frac{P_x n s}{60 \cdot 10^3},$$

де n — частота обертання заготовки, хв^{-1} .

Потужність від сили P_x становить 1...2 % всієї потужності. Тому її не враховують і потужність, кВт, визначають за формулою

$$N_e = \frac{P_z v}{60 \cdot 10^3}.$$

Потужність електродвигуна верстата $N_{дв} = N_e/\eta$, де η — ККД верстата, що дорівнює 0,7...0,8.

Контрольні питання

1. Як класифікуються рухи в металорізальних верстатах?
2. Що називається схемою обробки?
3. Що відноситься до основних параметрів режиму різання?
4. Які бувають види стружки?
5. Якими явищами супроводжується процес різання?