

621.91(075)  
К89

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

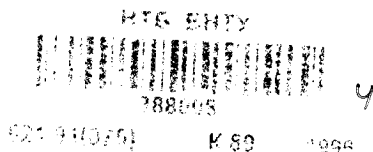
В.О.Кузьменко

ТЕОРІЯ РІЗАННЯ  
ч. I  
ТОЧІННЯ

Вінниця ВДТУ 1996

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

В.О.Кузьменко



ТЕОРІЯ РІЗАННЯ  
ч. I  
ТОЧІННЯ



Затверджено Ученою Радою Вінницького державного технічного університету як навчальний посібник для студентів бакалаврського напрямку 6.0902 - "Інженерна механіка" ступеневої підготовки спеціалістів з вищою технічною освітою

Вінниця ВДТУ 1996

УДК 621.91.01

"ТЕОРІЯ РІЗАННЯ". ч. I. "ТОЧІННЯ". Навчальний посібник / В.О. Кузьменко. - В.: ВДТУ, 1996. - 126 стор. Українською мовою /.

388008

У навчальному посібнику розглянуті інструментальні матеріали, геометричні параметри токарних різців, фізичні процеси, які мають місце в зоні різання - стружкоутворення, контактні явища, сили різання, зношування контактних поверхонь інструменту, теплові явища в процесі різання і теплові процеси в технологічних системах.

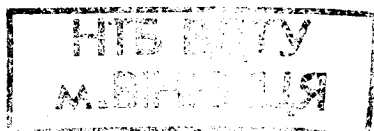
Зміст посібника відповідає програмі курсу дисципліни "Теорія різання" і є базою при вивченні таких дисциплін як "Ріжучий інструмент", "Металообробне обладнання", "Технологія машинобудування".

Розрахований для студентів бакалаврського напрямку 6.0902- "Інженерна механіка" ступеневої підготовки спеціалістів з вищою інженерною освітою.

Іл. 77. Табл. 3. Бібліогр. 9 назв.

Рецензе ги: В.І.Савуляк, проф.

В.А.Дусанюк, доц.



# З М І С Т

ВСТУП . . . . .	5
1. ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ . . . . .	6
1.1. Вимоги до інструментальних матеріалів . . . . .	6
1.2. Вуглецеві інструментальні сталі . . . . .	6
1.3. Леговані інструментальні сталі . . . . .	7
1.4. Швидкоріжучі сталі . . . . .	7
1.5. Тверді сплави . . . . .	10
1.6. Мінералокераміка . . . . .	14
1.7. Алмаз . . . . .	15
1.8. Кубічний нітрид бору / КНБ / . . . . .	16
1.9. Композити . . . . .	17
Рекомендації до використання твердих сплавів /табл.1.2/	17
2. ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ РІЗЦІВ . . . . .	20
2.1. Частини та елементи токарного різця . . . . .	20
2.2. Поверхні та координатні площини . . . . .	20
2.3. Кути різця . . . . .	22
2.4. Форми робочих поверхонь різців з пластинами твердого сплаву . . . . .	26
2.5. Типи найбільш поширених при точінні різців . . . . .	28
3. ЕЛЕМЕНТИ РІЗАННЯ ТА ЗРІЗУВАНОВОГО ШАРУ ПРИ РІЗАННІ . . . . .	29
3.1. Рухи при різанні . . . . .	29
Основний час при різанні . . . . .	34
4. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ МЕТАЛІВ . . . . .	35
4.1. Процес стружкоутворення, типи стружок . . . . .	35
4.2. Наростоутворення при різанні металів . . . . .	42
4.3. Контактні явища на передній поверхні . . . . .	46
4.4. Усадка стружки . . . . .	52
4.5. Абсолютний та відносний зсув . . . . .	56
4.6. Якість обробленої поверхні . . . . .	57

Шорсткість обробленої поверхні . . . . .	57
Наклеп / зміцнення / . . . . .	60
4.7. Робота різання . . . . .	63
4.8. Сили різання при точінні . . . . .	65
Фактори, які впливають на сили різання . . . . .	67
Потужність різання . . . . .	74
Дія сил на інструмент, заготовку, верстат . . . . .	75
4.9. Знос різців . . . . .	78
4.10. Теплові явища при різанні металів . . . . .	89
Фактори, які впливають на температуру різання . . . . .	94
4.11. Швидкість різання . . . . .	101
5. ТЕПЛОВІ ПРОЦЕСИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЕРСТАТНИХ СИСТЕМАХ . . . . .	107
5.1. Поняття про технологічну систему та підсистему . . . . .	107
5.2. Теплообмін в технологічних системах . . . . .	109
5.3. Градієнт температури . . . . .	112
5.4. Основний закон теплопровідності. Закон Фур'є . . . . .	113
5.5. Стационарний теплообмін . . . . .	114
5.6. Нестационарний теплообмін . . . . .	116
5.7. Схематизація компонентів технологічних систем . . . . .	120
5.8. Конвекція і теплове випромінювання . . . . .	121
Питання для самоперевірки знань студентів . . . . .	124
6. ЛІТЕРАТУРА . . . . .	126

## В С Т У П

Обробка різанням є одним з основних методів виготовлення деталей машин визначеної точності. Щоб успішно вести обробку різанням з високою продуктивністю, економічністю та забезпечувати високу якість оброблених поверхонь деталей машин, треба добре розуміти закономірності процесу різання, що дасть можливість керувати фізичними явищами, які мають місце в процесі різання, а отже і самим процесом різання взагалі.

В наш час все більше застосовуються важкооброблювані матеріали – жаростійкі, жаротривкі сталі і сплави, композиційні матеріали. Для вирішення задач різання наведених матеріалів необхідно вивчати фізику явищ, які супроводжують перетворення припуску в стружку, а також фізичну природу тертя на контактних поверхнях інструменту та їх зношування.

Зміст посібника поділено на 5 розділів, до кожного з яких у кінці посібника поставлені запитання, що дає можливість студенту самостійно перевірити свої знання з відповідного розділу.

# I. ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

## I.1. Вимоги до інструментальних матеріалів.

Експлуатаційні характеристики ріжучих інструментів значною мірою залежать від якості інструментального матеріалу. Інструментальні матеріали повинні значно перевершувати за показниками оброблювані матеріали. Основні вимоги до інструментальних матеріалів такі:

1. Інструментальний матеріал повинен мати велику твердість після належної термічної обробки – не менше 63–66 *HRC<sub>e</sub>*.

2. Інструментальний матеріал повинен зберігати початкову твердість при високих температурах, тобто мати високу теплостійкість.

3. Контактні поверхні інструменту працюють в умовах високого тиску і тертя, тому інструментальний матеріал повинен чинити опір зношуванню, тобто мати високу зносоустійкість.

4. Твердість викликає крихкість, тому поряд з достатньою твердістю матеріал повинен мати високу механічну міцність – спроможність насамперед протистояти зрізу, згину, зсуву.

5. В зоні різання утворюється велика кількість тепла. Температура контактних поверхонь залежить від спроможності відвести тепло від ріжучої частини. Це останнє в значній мірі залежить від теплопровідності інструментального матеріалу. Отже інструментальний матеріал повинен мати високу теплопровідність.

6. Інструментальний матеріал повинен бути технологічним – відносно легко обробляється тиском, різанням, при операції термічної обробки не боятися перегріву, не втрачати вуглець, не давати тріщин при загартуванні і т.д.

7. Інструментальний матеріал повинен бути економічним – по можливості мати відносно невисоку вартість.

## I. 2. Вуглецеві інструментальні матеріали

Першими інструментальними матеріалами, які застосовували в металообробці, були вуглецеві інструментальні матеріали У10А, У11А, У12А, У13А.

Крім заліза і вуглецю в ці сталі входить 0,2–0,4% марганцю. Інструменти з цих сталей, після належної термообробки, мають достатню твердість 62...65, але теплостійкість їх невелика – при температурах 200–250°C вони втрачають свою твердість. З цієї причини в наш час їх використовують тільки для ручних інструментів, наприклад: У7, У7А – для виготовлення зубил, УІЗА – для виготовлення напильників.

### 1.3. Леговані інструментальні сталі

На один щабель вищі властивості цих сталей в порівнянні з вуглецевими. Перш за все вони мають вищу ріжучу спроможність за рахунок домішок легуючих елементів таких як хром, нікель, вольфрам, марганець, кремній та інш. Так, хром збільшує твердість, механічну міцність, корозійну стійкість; нікель – механічну міцність, пластичність, ударну в'язкість, прокалюваність матеріалу; вольфрам – твердість, теплостійкість; ванадій – твердість, механічну міцність, дає більш м'яку стружку; кобальт – ударну в'язкість та жаростійкість матеріалу; молібден – пружність, механічну міцність, теплостійкість.

В металообробці застосовують найчастіше такі марки: 9ХФ, ПХФ, ІЗХ, В2Ф, ХВ4, ХВСГ, ХВГ, 9ХС і інш. Ці сталі, в порівнянні з вуглецевими, мають більш високу теплостійкість 300° – 350°C і, як наслідок, дозволяють підвищити швидкість різання в 1,2 – 1,4 раза. Але, все-таки допустима швидкість різання в наш час  $V = 12 - 14 \text{ м/хв}$  є недостатньою і з цієї причини їх застосовують для ручних робіт – розвертки, плашки, мітчики і для механічної обробки з низькими швидкостями різання – мілкі свердла, розвертки.

### 1.4 Швидкоріжучі сталі

Якщо в сталі 8,5 – 18,5% вольфраму і 3,8–4,4% хрому, то така сталь називається швидкоріжучою. Треба підкреслити, що винахід



цієї сталі є справжнім революційним стрибком в металообробці. Справа в тому, що теплостійкість цієї сталі 600 - 720°C /порівняйте з попередніми - 200 - 350°C/, що дає змогу працювати з швидкістю різання 50 і навіть 70 м/хв.

Першими /базовими/ марками швидкоріжучої сталі були P9 і P18. Цифри 9 і 18 характеризують середню кількість вольфраму в сталі в відсотках, буква P - *rapide* - швидкий. Так P9 має 8,5-10,0% W, 3,8-4,4% Cr, 2,0-2,6% V, до 1% C; P18 - 17 - 18% W, 1,0-1,4% V; Cr і C співпадають з маркою P9. По ріжучим спроможностям обидві марки однакові, але P9 поступається перед P18 в технологічності - їй притаманна нижча оброблюваність шліфуванням. В наш час розроблено і застосовується більше двох десятків марок швидкоріжучої сталі. Всі вони поділені на три групи: сталі нормальної, підвищеної і високої теплостійкості.

### Швидкоріжучі сталі нормальної теплостійкості

До цієї групи відносяться перш за все P9, P12, P18. В останній час вольфрам катастрофічно швидко зникає /вичерпується/ в природі. З цієї причини інструментальні фірми світу, в тому числі і фірми бувшого СРСР, вели пошуки можливості зменшити вміст дефіцитного вольфраму в сталях. У нас були розроблені вольфрамомолібденові сталі, в яких частину вольфраму замінюють молібденом за формулою 1% Mo замінює 1,5 - 2% W. В результаті з'явилися швидкоріжучі сталі нормальної теплостійкості марок P6M5, P6M3, P8M3. Якщо враховувати вищеприведену формулу, то P6M3 відповідає P9, P6M5 - P12, P8M3 - P18. Твердість сталей нормальної теплостійкості 63-66 HRCe, межа міцності на згин 2900-3400 МПа; теплостійкість їх 600-650°C. Названі сталі широко застосовуються при обробці конструкційних сталей, чавунів, кольорових металів, пластмас. Допустима швидкість різання 20-40 м/хв. Якщо ці сталі легувати азотом 0,06-0,09%, то можна підвищити ріжучі властивості інструменту на 20-30%, твердість - на 1-2 одиниці HRC

В цьому випадку маркують таким чином: P6AM5, P18A.

Швидкоріжучі сталі підвищеної теплостійкості характеризуються підвищеним вмістом вуглецю, ванадію та кобальту, наприклад, марки сталей з підвищенням вуглецю – IOP8M3, IOP6M5; ванадію – P12Ф3, P2M3Ф, P9Ф5; кобальту – P9K5, P9K10, P9M4K3Ф, IOP6M5Ф2K8, P6M5K5, P18Ф2K5 і інш.

Твердість таких сталей досягає  $66-70HRC_e$ , теплостійкість підвищена –  $620-670^{\circ}C$ . Це дає можливість застосовувати їх при обробці жаротривких та нержавіючих сталей, а також конструкційних сталей підвищеної міцності та загартованих.

Стійкість інструментів із цих сталей в 3-5 разів [4] вища, ніж у сталей P18, P6M5.

Швидкоріжучі сталі високої теплостійкості характеризуються зниженим вмістом вуглецю, але різко збільшеним легуючих елементів – B11M7K23, B14M7K25, 3B20K20X4Ф. Ці сталі мають твердість 69...  $70HRC_e$ , теплостійкість  $700...720^{\circ}C$ . Найбільш раціонально їх використовувати при обробці важкооброблюваних матеріалів і титанових сплавів. За даними [4] стійкість інструментів із вищенаведених сталей при різанні таких матеріалів в 30-80 разів вища, ніж із сталі P18 і в 8-15 разів, ніж із твердого сплаву BK8. При різанні конструкційних сталей та чавунів ефект менш значний – в 3-8 разів.

#### Порошкові швидкоріжучі сталі

Перспективним напрямком підвищення якості швидкоріжучих сталей є застосування порошкової металургії. Сутність цього напрямку полягає в тому, що розплавлену швидкоріжучу сталь обдувають струменем аргону або азоту у вакуумі або інертному середовищі. /Азот утворює нітриди легуючих елементів/. Під дією струмочка газу розплавлений рідкий метал перетворюється в мілкі краплини, які швидко застигають і кристалізуються. Розмір краплин /зерен/ 20 мкм. Одержаний порошок пресують під тиском 1000 атм. при температурі  $1300^{\circ}C$  в вакуумі. Потім одержаний таким чином моноліт, прокатують

у вигляді прутків  $\varnothing$  60–150 мм. З такої заготовки виробляють інструмент.

До речі, американські фірми більш економно підходять до цієї справи. Вони розташовують гарячий порошок в скляну ємкість, скло розм'якшується і потім штампують через скло для придання належної форми /наприклад фрези, свердла та інш./. Це останнє зменшує втрати металу в стружку. Метод порошкової металургії дозволяє досить легко легувати, для чого досить змішати порошок сталі з порошком обраного легуючого елемента.

Перевага порошкових сталей полягає в наступному: підвищена твердість, зносостійкість за рахунок утворених нітридів, вони мають мілкозернисту структуру, високу структурну однорідність /в тому числі і карбідну/ по всьому об'єму заготовки; стійкість в порівнянні з звичайними швидкоріжучими сталлями в 1,2–2 рази вища, добре шліфується, менше деформується під час термообробки.

Але слід зазначити, що такі сталі на 20% дорожчі звичайних. Маркування їх потребує додавати МП – матеріал порошковий. Наприклад, швидкоріжуча сталь звичайна Р6М5, сталь порошкова Р6М5-МП.

#### Мало- та безвольфрамові сталі

Вже йшла мова про дефіцит вольфраму, саме з цієї причини ведеться пошук маловольфрамових швидкоріжучих Р2М5, Р3М3Ф4К5, Р2М3Ф8, РР3М3Ф2 та таких, в яких відсутній вольфрам, П1М5Ф. За даними [4] експлуатаційні властивості названих сталей близькі до традиційних марок. Добре себе зарекомендували також карбідосталі, я + вміщують до 20%  $TiC$ , за своїми властивостями займають проміжне місце між швидкоріжучими сталлями та твердими сплавами.

#### 1.5 Тверді сплави

Їх одержують методом порошкової металургії. Компонентами таких сплавів є: карбіди вольфраму, титану, танталу, ніобію, а також більш м'яких і менш тугоплавких, кобальту або /рідше/ нікелю в суміші з молібденом.

Порошки цих компонентів змішуються в відповідних процентних співвідношеннях, пресуються для придання форми пластинки і спікаються при температурі 1500°C.

Тверді сплави мають високу твердість - 88...92 HRA /72...76 HRC/ і теплостійкість 850-1000°C. Це дає можливість проводити різання з великими швидкостями різання, в 3-4 рази перевищуючими допустимі швидкості різання інструментами із швидкорізучої сталі.

Тверді сплави, які використовуються в наш час поділяються на одно-, дво-, трьох- і чотирьох-карбідні.

Однокарбідні сплави - вольфрамо-кобальтові: ВК3, ВК3М, ВК4, ВК6, ВК6-М, ВК6-ОМ, ВК8. Головне призначення цих сплавів - обробка крихких матеріалів, наприклад, чавуну, твердої бронзи. Їх використовують також при різанні жаростійких і нержавіючих сталей, титанових сплавів. Це пов'язано з тим, що присутність в більшості цих матеріалів титану викликає підвищену адгезію з сплавами групи ТК, які теж мають титан. В деяких джерелах [4] рекомендують групу ВК також при обробці конструкційних сталей в умовах низької жорсткості системи ВПІД, при роботі з ударами. Хімічний склад сплавів групи ВК визначається таким чином: цифра після букви К означає процентний вміст кобальту, буква В - карбід вольфраму. Наприклад, ВК6 - 6% кобальту, решта /94%/ карбід вольфраму. Літера М - мілкозерниста структура, дві літери ОМ - особливо мілкозерниста структура. Розмір зерна  $\leq 0,5$  мкм. Мілкозернисту і особливо-мілкозернисту структури використовують для чистої і напівчистої обробки, а також матеріалів з великою зношувальною спроможністю.

Двокарбідні тверді сплави - вольфрамо-титано-кобальтові; група ТК: Т5К10, Т14К8, Т15К6, Т30К4, Т60К6. Хімічний склад визначають за тією ж методикою, що і сплавів групи ВК, наприклад, Т15К6 - кобальту 6%, карбиду титану 15%, решта 79% - карбід вольфраму. Сплави групи ТК більш теплостійкі, ніж групи ВК.

Інструменти зпластинками групи ТК використовують при високих швидкостях різання сталених заготовок.

Тверді сплави виготовляються у вигляді стандартизованих пластинок. Пластинки припаюють, приклеюють або кріплять механічним засобом до державки із конструкційної сталі.

Кобальт в твердих сплавах грає роль зв'язки. Він значно менш твердий, ніж карбіди і має значно більшу механічну міцність. Тобто, чим більше кобальту, менше карбідів, тим менш твердий, але більш міцний твердий сплав, більш спроможний протидіяти напруженням згину, зрізу і інш. Щоб краще орієнтуватися при виборі марки твердого сплаву для конкретних умов різання, розглянемо хімічний склад, фізичні характеристики декількох марок твердих сплавів і на цьому ґрунті, визначимо рекомендації по їх використанню.

ВК8 - Co 8%, WC 92%; ВК6 - Co 6%, WC 92%; ВК3 - Co 3%, WC 97%  
Т5К10 - Co 10% /TiC+WC/ 90%; Т15К6 - Co 6% /TiC+WC / 94%;  
Т30К4 - Co 4%, /TiC+WC / 96%.

Найменше карбідів у сплавах ВК8 і Т5К10, отже вони мають найменшу твердість і зносостійкість, внаслідок цього допустима швидкість різання найменша, але ці сплави мають найбільше кобальта. Кобальт підвищує механічну міцність сплаву. Це останнє дає можливість обробляти заготовки з нерівномірним припуском /відливка в землю, поковка/, з великими перерізами зрізу, тобто застосовувати для грубої, чорнової обробки.

Найбільший вміст карбідів у сплавах ВК3 та Т30К4. Отже, вони мають найбільшу твердість, зносостійкість і допускають найвищу швидкість різання. Але вони і більш крихкі, бо поряд з підвищеною твердістю вони мають низьку механічну міцність з причини малої кількості кобальту. Отже такі сплави можна застосовувати при точінні з малими перерізами зрізу, з рівномірним припуском, при жорсткій системі ВПД, тобто ці сплави можна застосовувати тільки для чистової обробки.

Марка ВК6 та Т15К6 розташовані посередині, отже і застосування їх можливе при напівчистовій обробці; при чорновій з рівномірним припуском /прокат, штамповка, точне литво/, з середніми перерізами зрізу; при чистовій обробці з середніми перерізами зрізу, а також при недостатній жорсткості системи ВПІД.

Приведений аналіз характеристик і застосування шести марок твердого сплаву дають змогу визначити місце в металообробці будь-якої марки твердого сплаву, наприклад, сплав Т14К8 повинен бути розташований між Т5К10 і Т15К6, тобто - чорнове, напівчистове з середніми умовами різання. Або ВК4 розташовується між ВК6 і ВК3 з усіма витікаючими з цього наслідками.

#### Три- та чотирикарбідні тверді сплави

Введення в твердий сплав додатково до карбідів вольфраму і титану карбідів танталу /трикарбідні/ і карбідів танталу та ніобію /чотирикарбідні/ підвищує їх механічну міцність. Це останнє дає можливість використовувати названі сплави для оснащення інструментів, які працюють в тяжких умовах з ударами, по брудній кірці.

Але теплостійкість цих сплавів, допустима швидкість різання менші ніж у традиційних сплавів груп ВК і ТК. Тобто, по ріжучих можливостях вони розташовані між швидкоріжучою сталлю і твердими сплавами груп ВК і ТК. Приклад трикарбідних: ТТ7К12 - кобальту 12%, карбиду титану 4%, карбиду танталу 3%, карбиду вольфраму 81%; чотирикарбідних: ТТ10К8-Б - кобальту - 8%, карбиду титану 3%, карбиду танталу та карбиду ніобію разом 7%, карбиду вольфраму 82%.

Безвольфрамові тверді сплави дозволяють відмовитись від гостродефіцитних вольфраму і кобальту. Технологія виготовлення їх не відрізняється від технології виробництва вольфрамових твердих сплавів.

Безвольфрамові тверді сплави діляться на три групи:

I. На основі складного карбиду титану та ніобію

$(TiNb)C + Ni + Mo$  - сплави ТМ та ТМЗ.

2. На основі карбіду титану  $TiC + Ni + Mo$  - сплав ТН-20.

3. На основі карбоніду титану  $TiCN + Ni + Mo$  - сплав КНТ-І6.

Як видно, основою цих сплавів є карбіди або карбонітриди титану. Ці останні ~~не~~дефіцитні, технологічні, легко сумісні з  $Ni$  та  $Mo$ , які грають роль зв'язки замість кобальту. Безвольфрамові тверді сплави дещо поступаються вольфрамовим за міцністю, теплопровідністю. Вони мають менший коефіцієнт тертя /в 2-4 рази/ в порівнянні з традиційними сплавами, що зменшує сили різання і коефіцієнт усадки стружки.

Найбільш перспективними є сплави ТН-20 та КНТ-І6, які використовуються при напівчистовому і чистовому точінні та фрезеруванні вуглецевих та малолегованих сталей, кольорових металів та сплавів і успішно замінюють на цих операціях сплави Т30К4 та ТІ5К6. Не менш успішно вони працюють і при обробці чавунів.

### 1.6 Мінералокераміка

Головною перевагою мінералокераміки над іншими інструментальними матеріалами є її дешевизна, бо в її склад не входять коштовні та дефіцитні елементи. Основу матеріалу складають оксиди алюмінію  $Al_2O_3$  з незначною /0,5 - 1%/ добавкою оксиду магнію  $MgO$ . Матеріал має високу твердість, теплостійкість до  $1200^{\circ}C$ , хімічну інертність до металів. Але він відзначається низькою теплопровідністю і низькою границею міцності на згин /високою крихкістю/.

Сучасну кераміку на основі оксиду алюмінію можна розділити на три групи:

1. Чиста оксидна кераміка /біла/; про її склад йшла мова вище;
2. Кераміка з додатком металів /ніобій, титан/;
3. Оксидно-карбідна кераміка /чорна/, її склад: оксид алюмінію з додатком карбідів титану, вольфраму, молібдену.

В металообробці застосовують оксидну кераміку марок ЦМ-332, В0-ІЗ та оксидно-карбідну ВЗ, В0К-60, В0К-63, в склад яких входить до 40% карбідів титану, вольфраму і молібдену.

Крім матеріалів на основі оксиду алюмінію випускають також матеріал на основі нітриду кремнію – сілініт Р та кортніт ОНТ-20 з додатком оксидів алюмінію.

Наведемо деякі фізико-механічні властивості мінералокераміки в таблиці І.І.

Таблиця І.І

Марка	Твердість	Границя міцності на згин, МПа
ЦМ-332	90-92	295-350
В0-ІЗ	90-92	450-500
ОНТ-20	92-94	500-650
ВЗ-	92-94	560-600
В0К-60	92-94	560-600
В0К-63	92-93	635-700
СІЛІНІТ-Р	94-96	500-700

Інструменти з мінералокераміки застосовують при швидкісній обробці сталей та високоміцних чавунів. При чистовому і напівчистовому тоцінні та фрезеруванні, в порівнянні з твердосплавними інструментами, продуктивність обробки підвищується в 2 рази з одноразовим підвищенням стійкості в 4-5 разів. Випускають мінералокераміку в вигляді непереточуваних пластин з механічним кріпленням їх до державки.

### І.7 Алмаз

Алмази, які використовують в металообробці, бувають природні і штучні. Природні мало використовують, найбільш перспективні – штучні. Їх виготовляють із звичайного графіту під високим тиском  $/12 \cdot 10^9 \text{ Па}/$  і при високій температурі  $/T \approx 2000^\circ \text{C}/$ . Одержують кристали штучного алмазу масов 0,31-0,35 карата /1 карат – 0,2 г/, тобто розмір кристала 0,2 – 0,3 мм. Слід виділити полікристаліч-



ний синтетичний /штучний/ алмаз типу "карбонадо" або "баллас" /АСПК/. Потім синтетичний алмаз паяють /припій - срібло, латунь, мідь з цинком/ до металеві вставки. Останню прикріплюють механічним засобом до державки. Такі інструменти мають високу розмірну стійкість і забезпечують високу якість обробленої поверхні. Застосовують їх при обробці титанових сплавів, сплавів алюмінію з кремнієм, склопластиків, пластмас, твердих сплавів і інш.

Але найчастіше його використовують як абразивний матеріал у вигляді алмазних кругів, брусків, надфілів, дисків, паст та інш. За стійкістю алмаз в 50 разів, за твердістю в 5 - 7 разів перевищує твердий сплав. Він має високу ріжучу спроможність - крім твердості йому властиві велика гострота леза, інтенсивність відводу тепла із зони різання /теплопровідність в 5 - 6,5 разів вища, ніж у швидкоріжучої сталі/, низький коефіцієнт тертя, мала схильність до адгезії. Але він має низьку границю міцності /300 МПа/, при нагріві на повітрі до 700°C в контакті з залізом має місце інтенсивний розчин його в залізі, а при температурі 850°C швидко окислюється /згорає/. Важливим фактором є його коштовність, він коштує в 50 разів дорожче, ніж твердий сплав.

### 1.8 Кубічний нітрид бору /КНБ/

КНБ - хімічна сполука бору і азоту. Одержують його синтезом при таких же високих тисках і температурах, як і алмаз. Він має структуру алмазного типу, але в вузлах кубічної кристалічної решітки замість атомів вуглецю - атоми азоту і бору.

За твердістю майже не поступається алмазу, але значно його перевершує за теплостійкістю /1400-1500°C/. Має більш високу зносостійкість, ніж алмаз,  $\sigma_b = 600-700$  МПа, хімічно інертний, але за теплопровідністю в 3 рази поступається алмазу. Освоєно виробництво відносно великих полікристалів /ПКНБ/ діаметром 3-4 мм

і довжиною 5-6 мм, що дозволяє виготовляти лезвійні інструменти.

### 1.9 Композити

Композити одержують спіканням порошоків КНБ, алмазу, їх композицій з  $Al_2O_3$ ,  $B_4C$ ,  $W$ ,  $Mo$ ,  $Ni$ .

Охарактеризуємо композити з точки зору їх застосування.

Композит 01 /ельбор-Р/ і композит 02 /бельбор/ - технічно чисті полікристалічні матеріали використовують для тонкого чистового, напівчистового точіння та фрезерування загартованих сталей твердістю  $HRC \geq 55$  та чавунів з високими швидкостями різання і малими перерізами зрізу.

Композит 05 за твердістю поступається композиту 01; використовують для точіння та фрезерування з високими швидкостями різання і малими перерізами зрізу сталей середньої твердості.

Композит 09 - ПТНБ та композит 10 /гексанит-Р/ мають добавку вуглецифної модифікації; використовують при точінні та фрезеруванні сирих та загартованих важкооброблюваних конструкційних сталей та чавунів з середніми швидкостями різання і малими та середніми перерізами зрізу.

Рекомендації до використання твердих сплавів

Таблиця 1.2

Позначення		Операція	Оброблюваний матеріал та його ст.
ISO	ГОСТ3882-74!		
1	2	3	4
P01	T30K4	тонке точіння, розточування при достатньо жорсткій системі ВПД	незагартовані та загартовані вуглецеві та леговані сталі
P10	T15K6	Напівчистове, чорнове та чистове точіння і розточування переважистих поверхонь	вуглецеві та леговані сталі
P20	T14K8	Чорнове точіння та розточування з нерівномірним пере-різом зрізу, чорнове фрезерування, зенкерування литих	сталь, сталеве литво

388008

ІНСТІТУТ  
М.ВІСНИЦЯ

УЧАСНИК

1	2	3	4
		та кованих отворів	
P25	T5K10	Чорнове точіння та розто- чування преривчастих по- верхонь з нерівномірним перерізом зрізу, відрізка, фасонне точіння	вуглецеві та леговані сталі
	TT10K8B	Чорнове та напівчистове точіння, фрезерування	важкооброблювані аустенітні, маломагнітні, жароміцні та титанові сплави
P-40	T5K12	Грубе чорнове точіння, фрезерування та стругання	
	TT7K12	поковок, штамповок, відли- вок по кірці з раковинами, піском і інш.	вуглецеві та леговані сталі
K01	BK3	Чистове точіння та розто- чування при відсутності вібрацій	сірий та високоміцний чавун, кольорові метали, підшипнико- ві залізо - і мідно-графітові сплави
	BK3-M	- " -	тверді леговані та відбілені чавуни, цементовані та загар- товані сталі
K05	BK6-OM	напівчистове точіння та розточування, чистове фрезерування	тверді леговані та відбілені чавуни, загартована сталь, нержавіюча, жаротривка та на основі молібдену і вольфраму
K10	BK6-M	напівчистове точіння, роз- точування та чистове фре- зерування	жаротривкі та нержавіючі ста- лі, тверді чавуни, бронза, легкі сплави
	TT8K6	чорнове та напівчистове точіння та фрезерування	важкооброблювані сталі аусте- нітного класу, маломагнітні сталі, жароміцні сплави в тому числі на основі титану
K20	BK6	чорнове напівчорнове точіння та розточування, фрезерування, зенкерування	сірий та високоміцний чавун, кольорові сплави, неметалічні матеріали
	BK4	напівчистове та чистове точіння, розточування нор- мальних та глибоких отво-	сірий чавун, високоміцний чавун, кольорові метали

I	2	3	4
!	!	! рів, зенкерування, чистове фрезеру-	!
!	!	! вання	!
K30	! BKII	! грубе, чорнове точіння з нерівно-	! всі чавуни, крім висо-
	! BK8	! мірним перерізом зрізу, преривчас-	! колегованих та відбі-
	!	! тих поверхонь, з ударами, чорнове	! лених, нержавіючі
	!	! стругання, свердління, зенкеру-	! сталі, титанові спла-
	!	! вання, фрезерування, зубофрезеру-	! ви, кольорові сплави
	!	! вання	!

## 2. ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ РІЗЦІВ

### 2.1. Частини та елементи токарного різця.

Найбільш розповсюдженим видом обробки різанням є точіння. Точінням отримують деталі з циліндричними, конічними, фасонними та торцевими поверхнями, які утворюються в результаті обертання заготовки і переміщення різця.

Різець складається з робочої частини /головки/ 3 і стержня /тіла/ 4 /рис.2.1/. У головці різця розпізнають передню 2, головну задню 7 і допоміжну задню 9 поверхні, головну 6 та допоміжну ріжучі кромки, вершину різця 8.

Передня поверхня різця - це поверхня, по якій сходить стружка. Задні поверхні - поверхні, обернуті до заготовки. Головна ріжуча кромка 6 утворюється перетином передньої та головної задньої поверхонь. Вона виконує основну роботу різання. Допоміжна ріжуча кромка утворюється перетином передньої та допоміжної задньої поверхонь різця.

Вершина різця - місце сполучення головної і допоміжної ріжучих кромок.

Тіло різця має опорну поверхню, по якій різець встановлюється в різцеутримувач.

Висотою  $H$  головки різця зветься найкоротша відстань від вершини до опорної поверхні різця. Довжиною головки різця називається найбільша відстань від вершини до кінця поверхні заострення головки, виміряна вздовж осі різця.

### 2.2. Поверхні та координатні площини

При точінні заготовка має /рис.2.3 /: оброблювану поверхню, котра буде зрізана різцем; оброблену поверхню, отриману після зняття стружки; поверхню різання, утворюється на заготовці безпосередньо ріжучою кромкою. Для визначення кутів різця прийняті такі координатні площини:

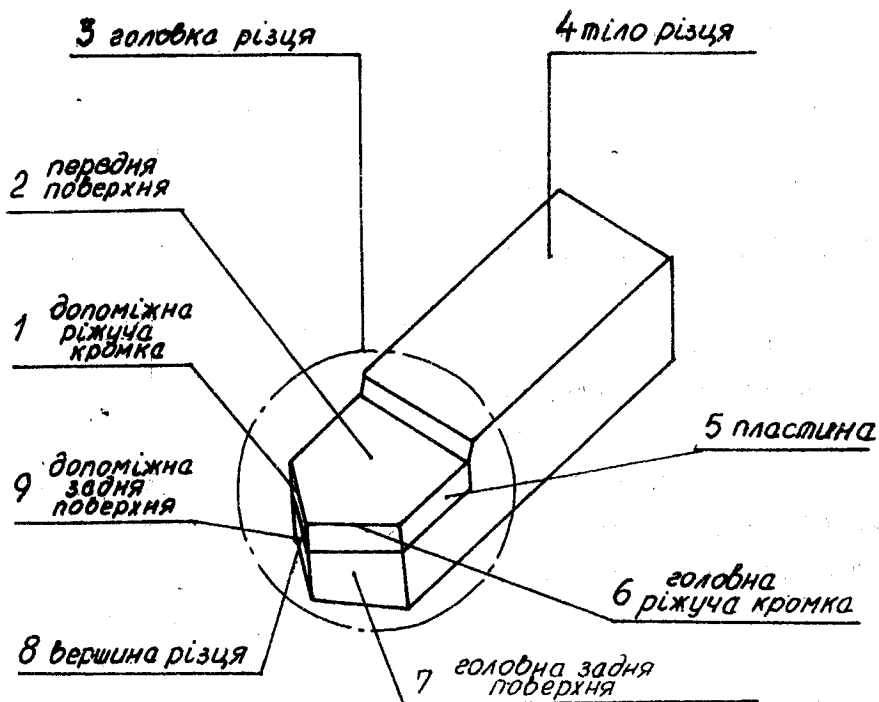


Рис. 2.1

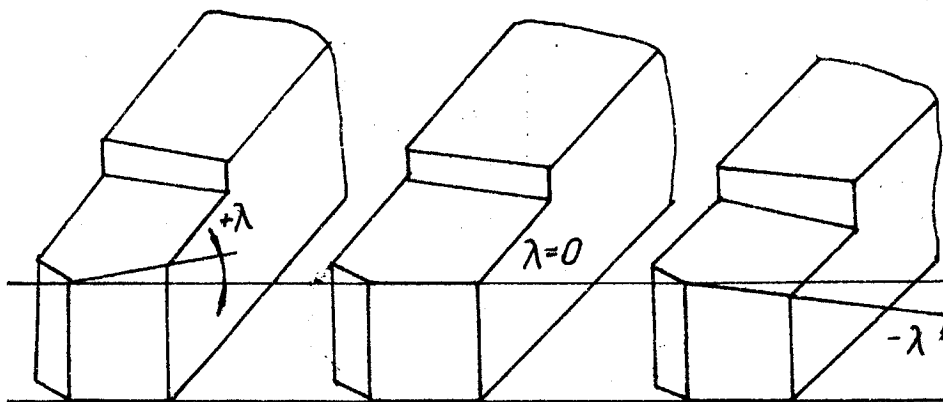


Рис. 2.2

площина різання - площина, дотична до поверхні різання і проходить через головну ріжучу кромку різця;

Основна площина - паралельна повздовжній і поперечній подачам /співпадає з опорною поверхнею призматичного різця/;

головна січна площина - площина, перпендикулярна до проекції головної ріжучої кромки на основну площину;

допоміжна січна площина - площина, перпендикулярна до проекції допоміжної ріжучої кромки на основну площину.

### 2.3. Кути різця

Розглянемо кути в статичному стані при встановленні ріжучої кромки різця на рівні центрів верстата /осі обертання заготовки/.

Головні кути вимірюються в головній січній площині /рис.2.3/. Задній кут  $\alpha$  - кут, розташований між головною задньою поверхнею і площиною різання. Передній кут  $\gamma$  - кут, розташований між передньою поверхнею різця і площиною, перпендикулярною до площини різання. Кут загострення різця  $\beta$  - кут, розташований між передньою і головною задньою поверхнями різця. Кут різання  $\delta$  - розташований між передньою поверхнею і площиною різання.

Як видно з рис.2.3.

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

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

Допоміжні кути вимірюються в допоміжній січній площині. До них належить допоміжний задній кут  $\alpha_1$  і допоміжний передній кут  $\gamma_1$ .

Кути у плані вимірюються в основній площині. Головний кут у плані  $\varphi$  вимірюється між проекцією головної ріжучої кромки на основну площину і напрямком руху подачі. Допоміжний кут у плані  $\varphi_1$  - кут, розташований між проекцією допоміжної ріжучої кромки на основну площину і напрямком, зворотним руху подачі. Кут при вершині у плані  $\epsilon$  - кут, розташований між проекціями головної та допо-

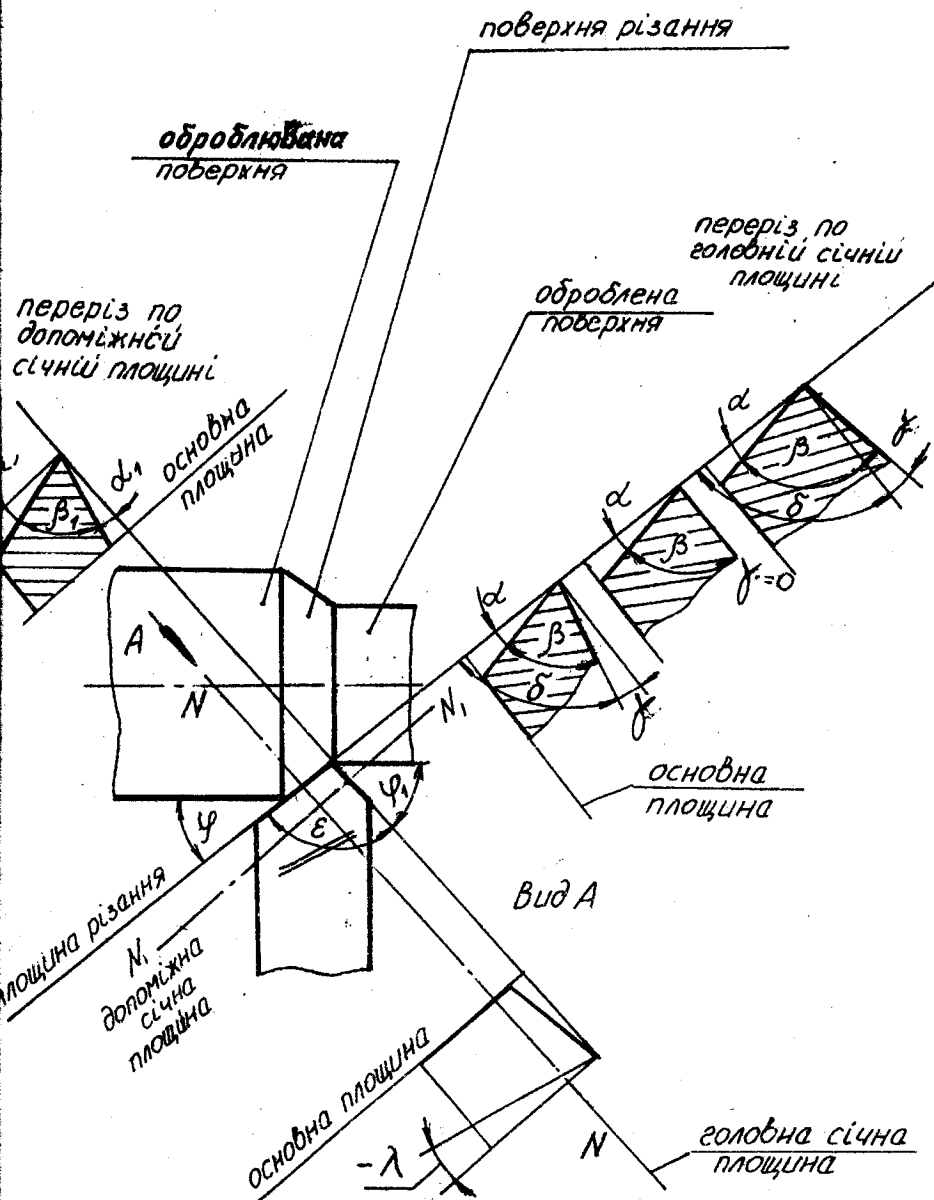


Рис. 2.3



міжної ріжучих кромки на основну площину.

З рис.2.2 видно, що

$$\varphi + \varphi_1 + \varepsilon = 180^\circ$$

Кут нахилу ріжучої кромки  $\lambda$  вимірюється в площині, котра проходить через ріжучу кромку перпендикулярно до основної площини. В цій площині кут  $\lambda$  вимірюється між головною ріжучою кромкою і лінією, яка проходить через вершину різця паралельно основній площині/рис.2.2/

$\lambda$  може бути позитивний /додатний/, нульовий та негативний:

$\lambda$  - позитивний - коли вершина різця є найнижчою точкою ріжучої кромки;

$\lambda$  - нульовий - якщо ріжуча кромка і лінія, паралельна до основної площини, співпадають;

$\lambda$  - негативний, коли вершина різця є найвищою точкою ріжучої кромки.

До цього часу мова йшла про геометричні параметри різця в статисти, тобто про кути різця як геометричного тіла. Але в процесі різання /в динаміці/ абсолютні величини кутів заточки різця /і перш за все  $\delta$  і  $\alpha$  /можуть змінюватись. Змінюються вони в залежності від:

а/. положення вершини різця відносно осі деталі /вище чи нижче осі/.

Наприклад, на рис.2.4 показано два положення одного і того ж різця: а/різець розташований по центру деталі і б/вище.

В випадку б/ задній кут  $\alpha_p$  в процесі різання визначається:

$$\alpha_p = \alpha_{ст} - \tau \quad ; \quad \delta_p = \delta_{ст} + \tau$$

Кут  $\tau$  визначається:

$$\sin \tau = \frac{n}{D} = \frac{2h}{D}$$

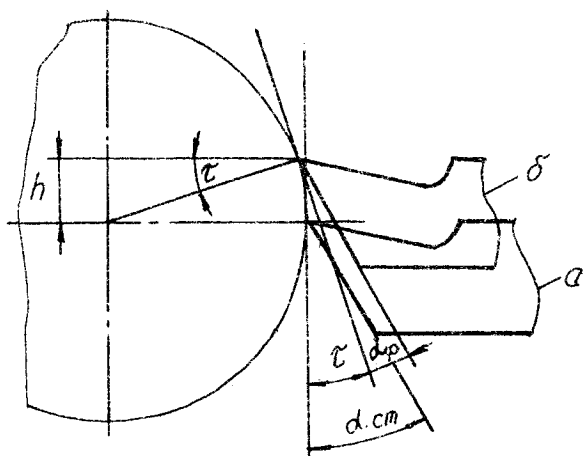


Рис.2.4

Вважаємо, що не треба гаяти часу, щоб визначити, що при положенні різця нижче центра буде навпаки  $d_p = d_{ct} + \varepsilon$  ;  $\gamma_p = \gamma_{ct} - \varepsilon$  .

б/. Від величини подачі ( $S$ ),

кути  $\delta$  і  $d$  змінюють своє значення в залежності від величини  $S$  з цієї причини, що поверхню різання можна вважати колом, якщо є тільки головний рух /обертання деталі/, а рух подачі відсутній. На прикладі роботи відрізного різця дослідимо, як змінюється поверхня різання та положення площини різання, якщо діють одночасно головний рух і рух подачі /рис.2.5/.

Коли рух подачі відсутній, поверхня різання на рисунку подана колом. Якщо діють одночасно обидва рухи, то поверхня різання буде результатом складання руху обертання деталі та руху подачі - гвинтова поверхня.

Площина різання розташована вертикально в першому випадку, в другому змінює своє положення під кутом до вертикалі. Кут  $\mu$  - кут гвинтової спіралі. Його визначають як

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{S}{\pi D}$$

з допомогою розгортки гвинтової лінії.

В цьому разі:  $\alpha_p = \alpha_{ст} - \beta$

$$\gamma_p = \gamma_{ст} + \beta$$

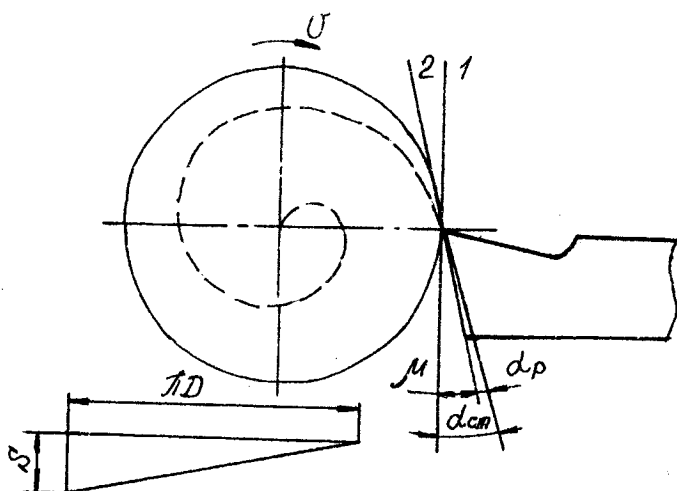


Рис. 2.5

#### 2.4. Форми робочих поверхонь різців з пластинками твердого сплаву

1. Плоска /плещата/ з від'ємною фаскою застосовується при точінні сталі  $\sigma_b \leq 800$  МПа, також  $\sigma_b > 800$  МПа при нежорсткій системі ВПД. Цю ж форму застосовують при обробці чавуну сірого та ковкого/Рис.2.6/

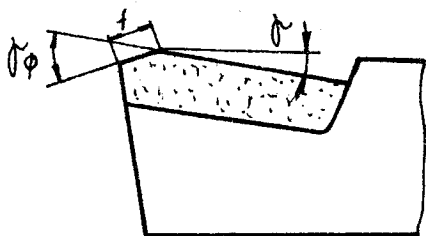


Рис. 2.6

Геометричні параметри: розмір фаски  $\beta = 0,2 - 0,5$  мм,

$\delta\varphi = -5^\circ$ , але в розрахунках бере участь передній кут  $\gamma \leq 15^\circ$ , бо розміри від'ємної фаски незначні. Задній кут  $\alpha$  при чорновоїй обробці сталі  $\alpha = 8^\circ$ , а чавуну  $\alpha = 6^\circ$ , при чистовій обробці сталі  $\alpha = 12^\circ$ , чавуну  $\alpha = 10^\circ$ .

II. Радіусна з від'ємною фаскою. /Рис.2.7./

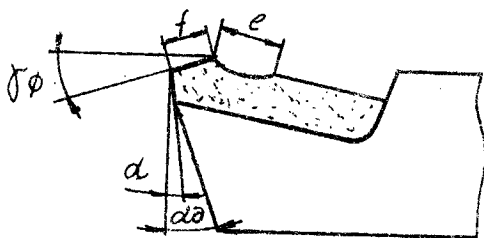


Рис.2.7

Застосовується при напівчистовому тоцінні сталі,  $\sigma_B = 800 \text{ МПа}$  при глибині різання 1 – 5 мм, подачі 0,3 мм/об. Геометричні параметри, як у ФІ.

III. Плоска від'ємна подвійна. Застосовується при обробці

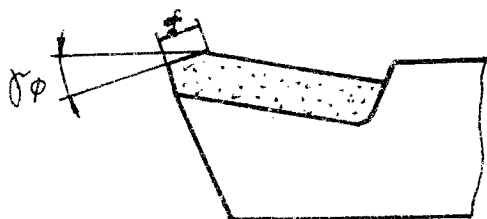


Рис.2.8

сталі  $\sigma_B > 800 \text{ МПа}$ , при достатній жорсткості системи ВІІД з нерівномірним припуском, розмір фаски  $f \geq 4 \text{ мм}$ , тому в розрахунок беруть передній кут на фасці: якщо  $\sigma_B \leq 1100 \text{ МПа}$   $\delta\varphi = -5^\circ$ , а  $\sigma_B > 1100 \text{ МПа}$   $\delta\varphi = -10^\circ$ , геометрія задньої поверхні, як у форми I.

IV. Плоска від'ємна. Застосовується при обробці сталі,  $\sigma_B > 800 \text{ МПа}$  при достатній жорсткості системи ВІІД з нерівномірним припуском і ударами. Передній кут  $\gamma$ , як у форми III, зад-

ній кут  $\alpha$ , як у форми I.

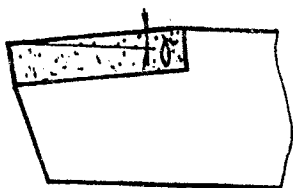


Рис.2.9

2.5. Типи різців найбільш поширених при точінні

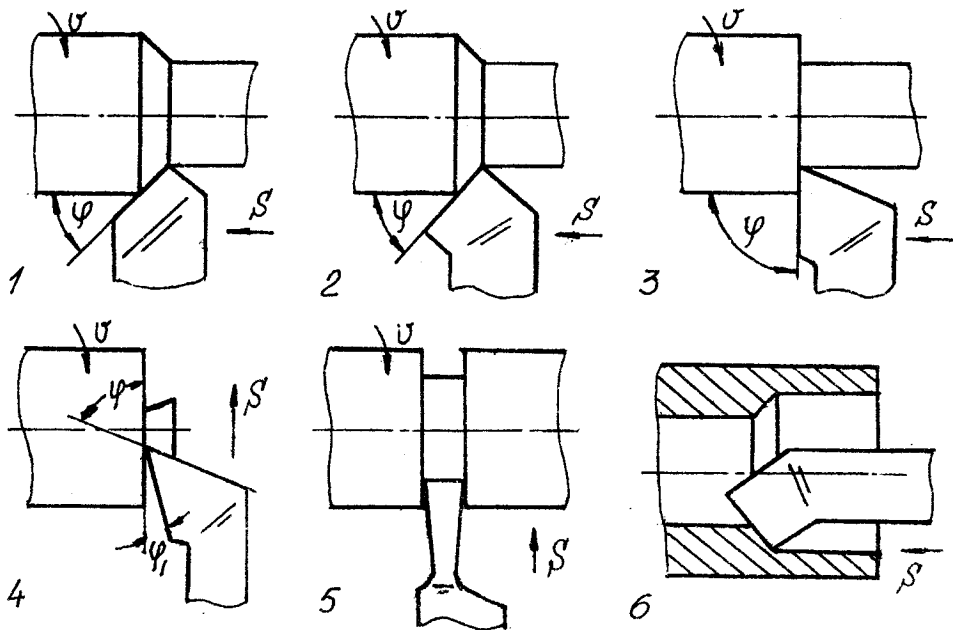


Рис.2.10

1. Прокідний правий прямиий.
2. Прокідний правий відігнутий.
3. Прокідний упорний.
4. Підрізний.
5. Відрізний або канавочний.
6. Розточувальний.

### 3. ЕЛЕМЕНТИ РІЗАННЯ ТА ЗРІЗУВАНОВОГО ШАРУ ПРИ РІЗАННІ

#### 3.1 Рухи при різанні.

Для забезпечення процесу різання потрібно щоб заготовка і інструмент виконували певні рухи. Наприклад, принципова кінематична схема при повздовжньому точінні визначається поєднанням двох рухів: рівномірного обертання деталі і рівномірного поступового руху різця повздовж осі деталі. Ці два рухи, які забезпечують стружкоутворення, називаються допоміжними.

Рухи, які забезпечують підготовку або завершення процесу різання, називаються допоміжними.

Щодо основних рухів, то вони поділяються на:

Головний рух /обертання заготовки при точінні, свердла, зенкера, розвертки при обробці отворів, фрези при фрезеруванні і т.д./.

Рух подачі /поступовий рух різця, свердла і т.д. відносно заготовки, або заготовки відносно фрези при фрезеруванні/

Головний рух характеризується швидкістю різання, яка визначається як величина переміщення точки ріжучої кромки відносно поверхні різання за одиницю часу в напрямку головного руху. Швидкість визначається за формулою:  $V = \frac{\pi D n}{1000} \left( \frac{м}{хв} \right)$ , де:

$D$  - найбільший діаметр поверхні різання, тобто - діаметр оброблюваної поверхні при зовнішньому точінні або обробленої поверхні при різанні внутрішніх поверхонь;

$n$  - частота обертання заготовки при точінні або інструменту при свердлінні, зенкеруванні, фрезеруванні і т.д. Ця величина вимірюється в  $\left[ \frac{1}{хв} \right]$

Якщо відома швидкість різання, то частоту обертання можна визначити за формулою:  $n = \frac{1000 V}{\pi D} \left( \frac{1}{хв} \right)$

При повздовжньому точінні та розточуванні швидкість різання є постійною, а при поперечному /підрізка торця, відрізка/ - перемінною,

але в розрахунки і в цих випадках беруть швидкість, яка відповідає найбільшому діаметру  $D$  .

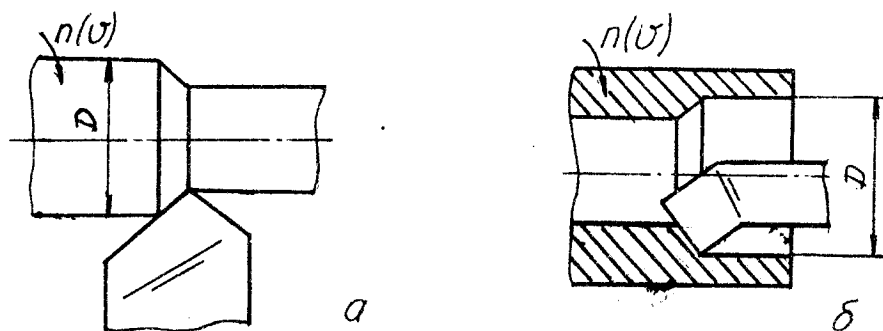


Рис.3.1

Рух подачі характеризується величиною подачі /більш точно - швидкістю подачі/.

Подача - величина переміщення різця відносно обробленої поверхні за одиницю часу, або за величину, що йому еквівалентна в напрямку руху подачі/.

При тоцінні подача може бути: повздожньою коли маємо переміщення різця паралельно до осі заготовки; поперечною, коли різець переміщується перпендикулярно до осі заготовки; похилою при тоцінні, розточуванні конусів, крім того, розрізняють подачу за один оберт /рис.3.2/коли різець за час одного оберта заготовки переміститься з положення I в положення II. Така подача вимірюється в  $(\frac{MM}{OБ})$  .

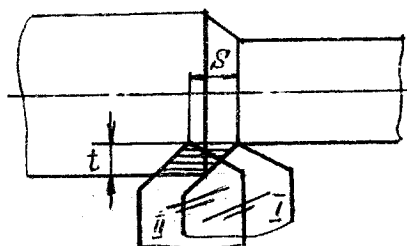


Рис.3.2

В даному разі одиницею, еквівалентною часу, є один оберт. Але, якщо визначити, на яку відстань переміститься різець за одну хвилину, то це вже буде хвилинна подача  $S$  хв ( $\frac{\text{мм}}{\text{хв}}$ ). Якщо взяти до уваги, що за один оберт заготовки різець переміщується на величину подачі за один оберт заготовки  $S$ , а за хвилину заготовка робить  $n$  обертів, то хвилинна подача:  $S$  хв =  $S \cdot n$  мм/хв і навпаки:

$$S = \frac{S \text{ хв}}{n} \frac{\text{мм}}{\text{об.}}$$

Токарний різець, як правило, має одну головну ріжучу кромку /однолезовий інструмент/. Але є ріжучі інструменти, які мають кілька / $Z$ / ріжучих кромок /багатолезові інструменти/: свердло, зенкер, розвертка, фреза і т.д. В такому випадку за один оберт інструмента, подача за один оберт буде здійснена всіма  $Z$  зубцями /ріжучими кромками/ і кожен зубець здійснить свою подачу на зуб, яка визначиться за формулою:  $S_z = \frac{S}{Z} \frac{\text{мм}}{\text{зуб}}$ ,

де  $S$  - подача за один оберт;  $Z$  - кількість зубців.

Тоді:  $S = S_z \cdot Z \frac{\text{мм}}{\text{об}}$  ;  $S \cdot n = S_z \cdot Z \cdot n \frac{\text{мм}}{\text{хв}}$

Глибина різання - шар, який зрізається за один прохід інструмента.

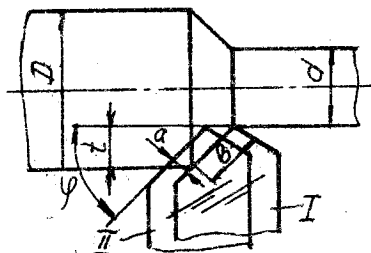


Рис.3.3

Краще визначити глибину різання як відстань між оброблюваною і обробленою поверхнями, виміряна по перпендикуляру до обробленої поверхні. Глибина різання  $t$  вимірюється в мм; при повздовжньому і внутрішньому різанні визначається за формулою:



$$t = \frac{D-d}{2} \text{ мм}$$

За один оберт деталі різець переміститься на величину подачі  $S$ . Шар металу, розташований між положеннями I і II поверхні різання буде зрізаний і перетвориться в стружку. Переріз чотирикутника /паралелограма, Рис.3.3/ є площина перерізу зрізаного шару.

Цю площу краще визначити як добуток основи  $B$  на висоту  $a$ , тобто  $f = B \cdot a$  мм<sup>2</sup>, де  $a$  - товщина зрізуваного шару в мм;  $B$  - ширина зрізуваного шару в мм.

Товщина зрізуваного шару  $a$  - відстань між двома послідовними положеннями поверхні різання, яка вимірюється перпендикулярно до головної ріжучої кромки в площині передньої поверхні різця.

Тобто:  $a = S \cdot \sin \varphi$ , якщо  $\gamma = 0^\circ$ \*

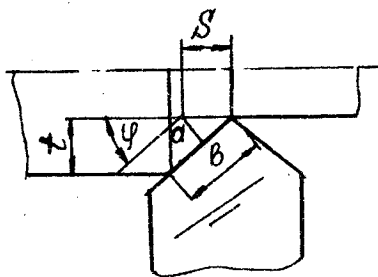


Рис.3.4

Ширина зрізуваного шару  $B$  - відстань між оброблюваною та обробленою поверхнями, яка вимірюється по вздовж ріжучої кромки /або контакт ріжучої кромки з поверхнею різання/,

Тобто:  $B = \frac{t}{\sin \varphi}$ , якщо  $\lambda = 0^\circ$ \*

Приймаючи до уваги зв'язки товщини  $a$  з подачею  $S$  і ширини  $B$  з глибиною різання  $t$ , можна дати формулу площі зрізаного шару у вигляді:

$$f = a \cdot B = S \cdot \sin \varphi \frac{t}{\sin \varphi} = St \text{ мм}^2$$

\* якщо  $\gamma \neq 0$ ,  $\lambda \neq 0$ , то  $a = \frac{S \cdot \sin \varphi}{\cos \gamma}$ ,  $B = \frac{t}{\sin \varphi \cos \lambda}$

Розміри площі зрізуваного шару, як було показано, залежать від величин  $a$  і  $b$ ,  $S$  і  $t$ . Розміри  $a$  і  $b$  [і] названі фізичними розмірами, а  $S$  і  $t$  - технологічними розмірами зрізуваного шару з тієї причини, що  $a$  і  $b$  характеризують процес різання через фізичні явища, які супроводжують процес різання, а  $S$  і  $t$  характеризують процес різання з технологічного боку через продуктивність різання.

Площа зрізуваного шару, яка визначається за формулою

$$f = a \cdot b = St \quad - \text{це теоретична площа .. Дійсна площа}$$

повинна враховувати площу гребінців шорсткості  $f_r$ , які залишаються на обробленій поверхні /рис.3.5/ тобто:  $f_g = f - f_r$

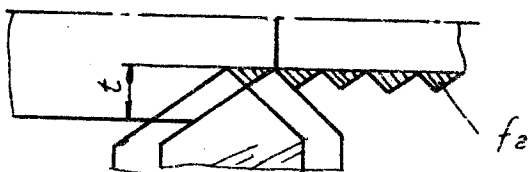


Рис.3.5

Зрізуваний шар може бути прямий, квадратний і зворотний. Прямий - коли  $t > S$ , квадратний -  $t = S$  і зворотний  $t < S$ , рис.3.6.

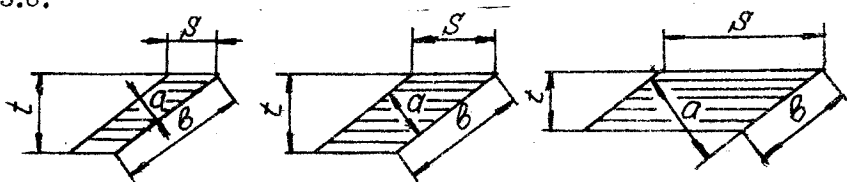


Рис.3.6

Пильно вивчаючи формули:  $a = S \cdot \sin \varphi$  і  $b = \frac{t}{\sin \varphi}$ ,

можна зробити висновки, що товщина  $a$  залежить від величини подачі  $S$  і головного кута у плані  $\varphi$ , ширина  $b$  залежить від глибини різання і головного кута у плані  $\varphi$ ;

2. Більш важливий висновок - головний кут у плані  $\varphi$  впли-

ває на співвідношення товщини і ширини зрізуваного шару: з зростанням  $\varphi$  зростає товщина зрізуваного шару і зменшується ширина зрізуваного шару і навпаки. Цей останній висновок добре пояснює вплив кута  $\varphi$  різця на фізичні явища, які супроводжують процес різання.

### Основний час при різанні

Основний час – час, який витрачається безпосередньо на зняття стружки.

Він може бути: ручний час – коли стружка знімається без участі машини /слюсарні роботи: рубка зубилом, обпилювання терпугом/; машинноручний – коли стружка знімається з безпосередньою участю робітника /заготовка обертається за допомогою верстата, а подача здійснюється руками робітника/; і нарешті машинний час – коли обертання заготовки і рух подачі різця здійснюється автоматично без участі робітника.

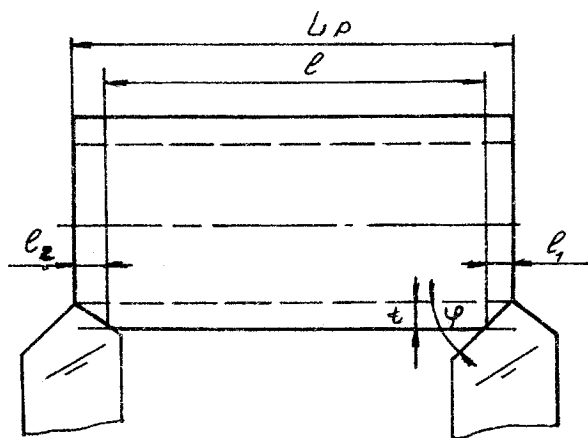


Рис.3.7

Машинний час за один прохід різця

$$T_m = \frac{L_p}{nS} \times B,$$

де  $L_p$  – шлях руху різця в напрямку подачі, мм.  $L_p = l_1 + l + l_2$

$l_1$  - врізання  $l_1 = t \operatorname{ctg} \varphi = \frac{t}{\operatorname{tg} \varphi}$  мм

$l_2$  - перебіг різця, для верстатів середніх розмірів  $l_2 = 1-3$  мм.

Тобто 
$$T_M = \frac{l_1 + l + l_2}{n S} = \frac{l_1 + l + l_2}{S \times v}$$
 хв

Якщо є потреба знімати припуск за кілька проходів, то

$$T_M = \frac{L_p}{n S} \cdot i \times v,$$

де  $i$  - кількість проходів, яку можна визначити;  $i = \frac{Z}{t}$ ,

де  $Z$  - припуск на обробку, мм,  $t$  - глибини на різання.

#### 4. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ МЕТАЛІВ

##### 4.1. Процес стружкоутворення, типи стружок

Процес різання металів - це процес пружно-пластичного деформування. При занурюванні ріжучого клина різця в зрізуваний шар виникає зона деформованого металу /рис.4.1 [1,2] /. Розміри цієї зони, характеристики процесу стружкоутворення та стан поверхневого шару деталі залежать від властивостей матеріалу та умов різання.

При обтіканні ріжучого клину частина деформованого металу переміщується по його передній поверхні, перетворюючись у стружку, а друга частина, яка розташована нижче лінії зрізу, переміщується по задній поверхні і утворює поверхневий шар деталі /оброблену поверхню/.

На рис.4.1 можна виділити 4 зони:

I - зона первинної деформації /яка, в свою чергу може бути поділена на I' та I'' /;

II - зона вторинної деформації;

III - зерна, які належать стружці;

IV - зона наклепу /про останню зону мова йтиме пізніше при вивченні теми "Наклеп"/.

Зона I первинної деформації окреслена лінією  $K_2 NMP$

Ця зона має форму клина [1] [4] [7] з вершиною поблизу ріжучої кромки. Її нижня межа  $K_2NMP$  вигнута і перерізує продовження поверхні різання. Верхня межа  $ABO$  зони вигнута і її довжина в 2-4 рази менша довжини лінії  $K_2NMP$ . Лівише лінії  $K_2NMP$  розташовані недеформовані зерна, а правіше лінії  $ABO$  - зона III - зерна, які належать стружці. Зерно зрізаного шару, яке рухається відносно інструменту з швидкістю різання  $V$ , починає деформуватися в точці  $M$  і, проходячи траєкторією свого руху, одержує все більшу ступінь деформації. Деформація закінчується в точці  $B$ , де зерно отримує швидкість  $V_0$ , яка дорівнює швидкості стружки. У [2] сказано, що в мінізоні I' зерно підпадає під пружні і малопластичні деформації. В цій мінізоні зерна трохи витягуються і повертаються, з'являється текстура матеріалу, виникає складнонапружений стан. В мінізоні I'' - деформація найбільш інтенсивна. Експерименти показують, [1] [4] [7], що ширина стружки майже не відрізняється від ширини зрізаного шару і це дає можливість зробити висновок, що деформований стан в зоні стружкоутворення є плоским і зрізаний шар в процесі різання терпить деформацію зсуву. Грунтуючись на цьому, можна зробити висновок, що лінія  $K_2NMP$  фізично являє собою поверхню зсуву, на котрій напруження зсуву  $\tau$  дорівнюють границі текучості  $\tau_{s0}$  матеріалу на зсув:  $\tau = \tau_{s0}$ .

Вся зона I збудована з подібних поверхонь, на кожній із яких напруження зсуву дорівнюють границі текучості матеріалу, вже одержавшого певний ступінь зміцнення в результаті попередньої деформації. Лінія  $ABO$  - представник поверхні, на якій здійснюється остання /кінцева/ деформація зсуву. На цій поверхні напруження зсуву  $\tau$  дорівнюють границі текучості  $\tau_s$  на зсув остаточно зміцненого в результаті перетворення зрізаного шару в стружку матеріала:  $\tau = \tau_s$ .

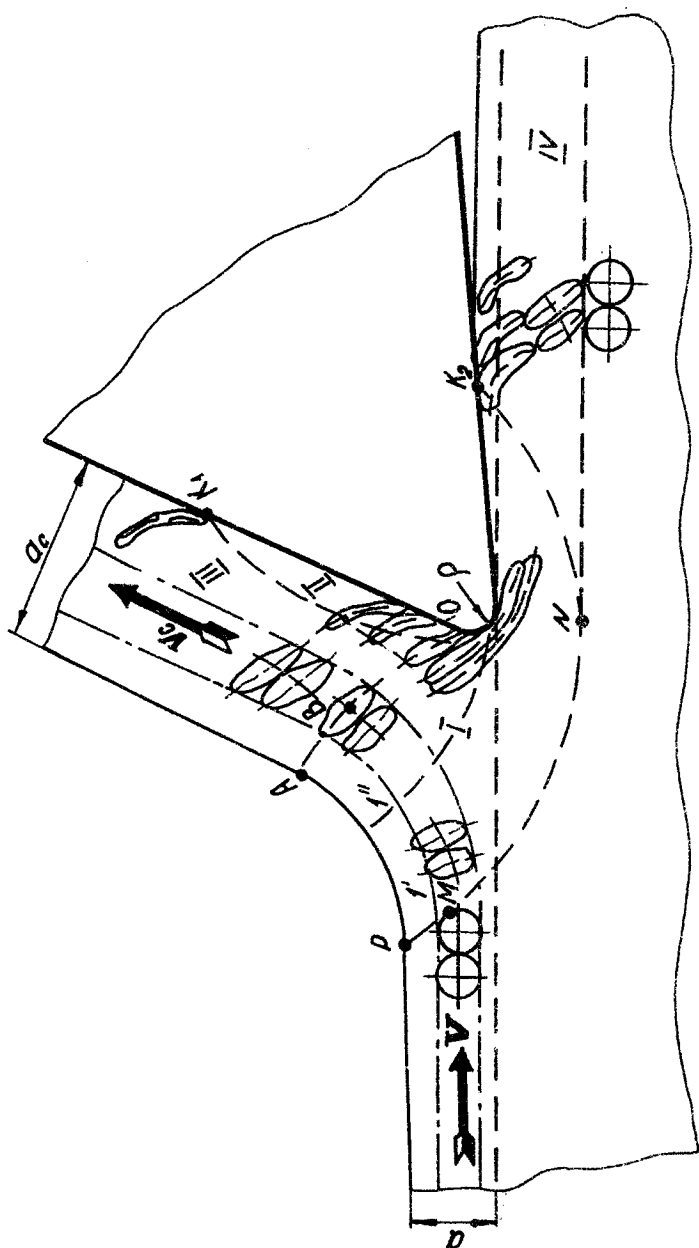


Рис. 4.1

Що стосується зони II, то вона виникає з причини тертя між передньою поверхнею різця і контактним боком стружки. Зерна матеріалу, які знаходяться на контактному боці стружки, деформуються додатково. Тобто по виході з зони I первинної деформації зерно одержує додаткову деформацію /з причини згаданого тертя/ в зоні II вторинної деформації. Зона вторинної деформації обмежена площиною  $OK_4$ . Ширина  $OK_4$  приблизно дорівнює половині ширини площини контакту, а максимальна висота в середньому  $0,1 a_c$  /товщини стружки/.

Розташування верхньої межі [2] зони первинної деформації залежить від швидкості різання, довжини контакту, товщини зрізаного шару, властивостей оброблюваного матеріалу і умов різання. Вище цієї зони матеріал остаточно zdeформований і переходить в стружку. Поблизу ріжучої кромки матеріал значно зміцнюється /щільність дислокацій сягає  $10^{12}$  на  $cm^2$ /, виникає сітка мікротріщин, які розгалужуються, перетинаючись і зливаючись, утворюють макротріщини критичних розмірів. Виникає розрив матеріалу поблизу вершини ріжучого клина, і довжина тріщини досягає товщини зрізаного шару. В тому випадку, коли при різанні пластичних матеріалів тріщина виходить на зовнішню поверхню зони I, виникає поділ матеріалу. При різанні твердих матеріалів виникає крихке руйнування і тріщина, розповсюджуючись з великою швидкістю, повністю відділяє елемент стружки від матеріалу заготовки.

Якщо утворюється суцільна стружка без тріщин та розривів в вигляді стрічки або спіралі, то вона називається зливна стружка /рис.4.2/.



Рис.4.2

Вона утворюється при точінні пластичних матеріалів при більших великих швидкостях різання. Така стружка має контакт з передньою поверхнею інструмента /  $DK_1$  , рис.4.1./, тисне на неї, переміщується по ній.

При точінні пластичних матеріалів з середніми швидкостями різання утворюється стружка східчаста. Зовнішньо вона збудована з окремих елементів, але міцно зв'язаних між собою /рис.4.3/

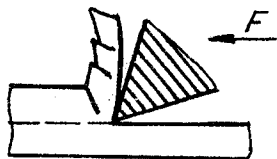


Рис.4.3

При точінні пластичних матеріалів з малою швидкістю різання утворюється елементна стружка /рис.4.4/

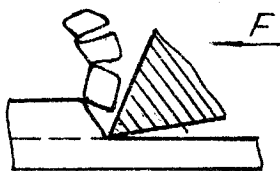


Рис.4.4

Така стружка складається з окремих пластично здеформованих елементів, не зв'язаних, або майже не зв'язаних між собою. Така стружка не має контакту з передньою поверхнею інструмента, не переміщується по ній.

Механізм утворення елементної стружки вперше дослідив і описав достатньо повно І.А.Тіме. /рис.4.5/ Ось в чому полягає цей механізм. Під впливом сили  $P_z$  , прикладеної до різця, різець занурюється в зрізуваний шар, стискає його і викликає спочатку пружні а потім пластичні деформації. Чим далі ріжучий клин занурюється в зрізуваний шар, тим більше в останньому зростають напруження і



коли напруження досягнуть границі міцності оброблюваного матеріалу, виникне зсув першого елемента в напрямку площини  $AB$ , яку І.А.Тіме назвав "площина зсуву /сколювання/".

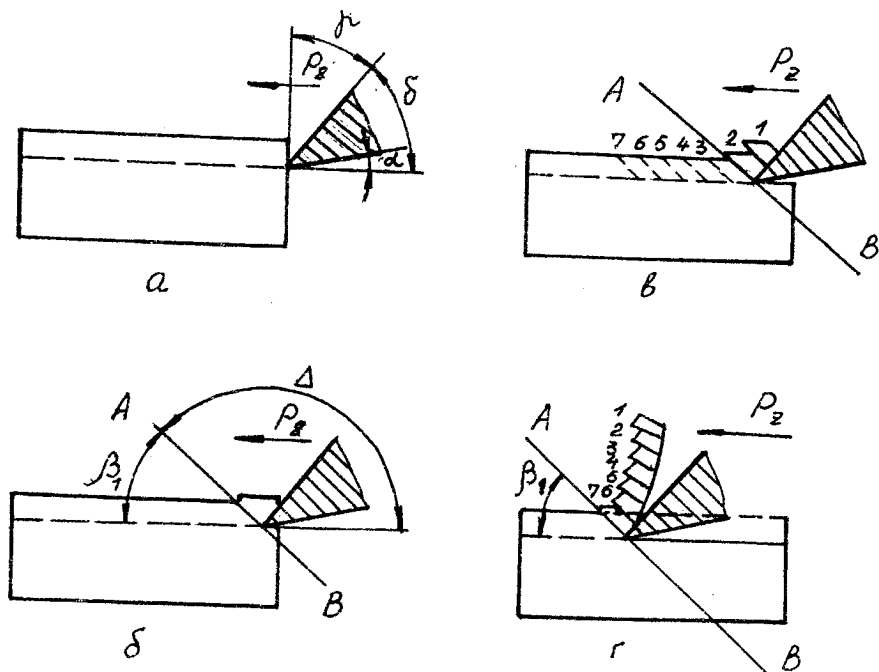


Рис.4.5

Ця площина нахилена до траєкторії переміщення ріжучої кромки під кутом  $\beta_1$ . Кут  $\beta_1$  зветься кут зсуву /сколювання/. Після сколювання першого елемента стружки деформується другий і т.д. Своїми дослідженнями І.А.Тіме дійшов висновку, що кут  $\Delta = /180^\circ - \beta_1 / = 145^\circ - 155^\circ$ .

Харківський професор К.А.Зворикін в 1892-1893рр. теоретичним шляхом визначив, що кут  $\Delta = 135 - 157^\circ$ . Подальші дослідження вчених показали, що при зміні переднього кута в широких межах від негативних його значень до позитивних  $\Delta = 135 - 170^\circ$  і що по шири-

ні зрізу  $\beta_1$  не є постійним, реально маємо справу не з площинозсуву, а поверхнею зсуву. З цієї причини для полегшення дослідів і розрахунків вводять поняття "умовна площина зсуву".

На величину кута зсуву  $\beta_1$  впливають передній кут різця  $\gamma$ , товщина зрізуваного шару  $a / S$ , швидкість різання, фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу. Так, зростання переднього кута різця збільшує кут зсуву  $\beta_1$  /наприклад,  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\beta_1 = 17^\circ$ ;  $\gamma = 45^\circ$ ,  $\beta_1 = 45^\circ$  [4] /. Зі зростанням товщини зрізу  $a$  /подачі  $S$  / кут зсуву  $\beta_1$  зростає /наприклад  $a = 0,13$  мм  $\beta_1 = 26^\circ$ ;  $a = 2,65$  мм,  $\beta_1 = 36^\circ$  [4] /. Зі зростанням швидкості різання зростає  $\beta_1$ . Це пов'язано з запізненням процесу пластичної деформації, так, при роботі з малою швидкістю різання зона первинної деформації має відносно великі розміри. Зі зростанням швидкості зрізуваний шар настільки швидко проходить через поле напружень, що пластична деформація не встигає пройти на нижній границі  $K_2 NMP$  /рис.4.1 /, а має місце правіше від неї. Внаслідок цього зона первинної деформації звужується і це викликає зростання  $\beta_1$ .

Фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу впливають на  $\beta_1$  в зв'язку з притаманному йому опору зсуву: чим вище опір зсуву матеріалу, тим більший кут зсуву  $\beta_1$ . В свою чергу, кут зсуву чинить значний вплив на процес різання, на фізичні явища, які його супроводжують, але про це йтиме мова далі.

При обробці крихких матеріалів /твердих чавунів та бронз/ утворюється стружка надлому, особливо при великих товщинах зрізу. Вона утворюється в результаті виривання елементів неправильної форми /рис.4.6/. Крихкий матеріал /напр. чавун/ майже не протистоїть розтягуванню, тому при стику зрізуваного шару виникають пружні деформації, які одразу перетворюються у напруження відриву. Відриву передують утворення випереджаючої тріщини, яка розповсюджується ниж-

че траєкторії переміщення різця. Це останнє і пояснює те, що оброблена поверхня чавунної деталі матова, сталевій - блискуча.

*Випереджаюча тріщина*

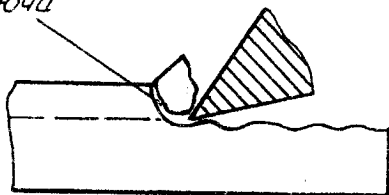


Рис.4.6

За даними ряду дослідників, наприклад [1] і [4], зі збільшенням швидкості різання при обробці крихких матеріалів можна одержати стружку східчасту і навіть зливну. Остання зовнішнє схожа на зливну, але при дотику до неї розсипається на окремі елементи. Крім того В.Ф.Бобров [1] стверджує, що при обробці чавунів частіше за все утворюється елементарна стружка, а стружка надлому має місце при підвищенні твердості чавуну.

#### 4.2. Наростоутворення при різанні металів

Зіткнення різця з частиною металу, яка деформується під впливом значного тиску різця і викликаного цим тиском пластичного деформування контактного шару стружки, а також наявність мікронерівностей на передній поверхні різця призводять до зчиплення між цими поверхнями. Це утворює так званий загальмований шар I /рис.4.7/. Гальмування цього шару сприяє також адгезія [1, 4]. Чим брутальніше оброблена передня поверхня різця, чим більше тиск та тертя на ній, тим більша можливість утворення загальмованого шару, на якому, як на фундаменті з тих же причин відкладається наступний шар і т.д. Внаслідок значної шорсткості утвореного шару кисень повітря проникає і дифундує в поверхневі шари. Окисні плівки зменшують тертя між стружкою і поверхнею загальмованого

шару і кожний наступний нарощений шар буде коротшим від попереднього.

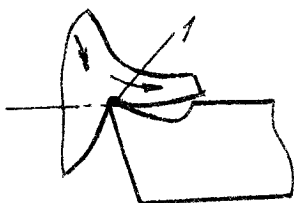


Рис.4.7

З цієї причини наріст набуває клиноподібної форми. Висота наросту збільшується до тих пір, поки його міцність стане недостатньою, щоб чинити опір проти тиску з боку стружки і наріст руйнується. Головні умовами утворення наросту є контакт стружки з передньою поверхнею різця, тиск стружки на передню поверхню та її переміщення а також достатня температура. Так, встановлено, що наріст досягає свого максимуму при температурі близько  $300^{\circ}\text{C}$ , а при температурі  $600^{\circ}\text{C}$  зникає і більше не утворюється ні за яких умов.

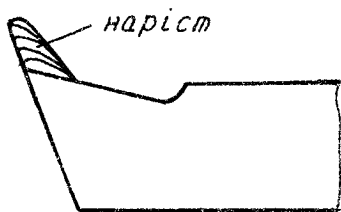


Рис.4.8

Отже, наріст утворюється із часток оброблюваного матеріалу, дуже стиснених та спечених між собою. В результаті він набуває твердості в три і більше разів вищої, ніж метал, з якого він утворений. Оскільки він твердий, має клиновидну форму і є продовженням передньої поверхні різця, то може різати заготовку. Доречно розібратися: позитивне це явище чи негативне?

По-перше./Рис.4.9/ Продовжує передню поверхню і бере на себе функції різання, захищає передню поверхню від зношування. Нависає над задньою поверхнею - захищає її від зношування. Збільшує передній кут  $\delta_n > \delta$  /, що полегшує процес різання. Це все говорить за наріст, але він не стабільний.

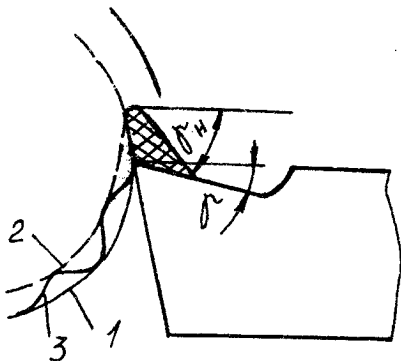


Рис.4.9

Кілька тисяч разів на хвилину він утворюється, зростає до максимуму, зменшується або зникає зовсім, щоб знову утворитися. Це призводить до нестабільності різання: передній кут зростає до  $\delta_n$ , потім зменшується до  $\delta$ , що змінює силу різання і може призвести до вібрацій; коли наріст має найбільшу висоту, поверхня різання 2, коли він зник - 1. В результаті утворюється поверхня різання 3 - більш шорстка. Тверді частки наросту проникають в поверхню різання і через один оберт заготовки будуть збільшувати абразивне зношення різця. Все це дозволяє зробити висновок, що це явище небажане. Але можна допустити, що при чорновій обробці це явище не дуже шкідливе, а при чистовій - недопустиме.

Які ж фактори впливають на наростоутворення і які міри боротьби з цим явищем?

На наростоутворення впливають: фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу, швидкість різання, товщина зрізуваного шару /подача/, передній кут різця, змащувально-охолоджувальна рідина, якість контактних поверхонь різця.

Всі матеріали можна розподілити на ті, які схильні до наростоутворення, і несхильні. До перших відносяться: конструкційні, вуглецеві, більшість легованих сталей, сірий чавун, алюміній, силумін. Чим менша твердість і вища пластичність матеріалу, тим більші розміри наросту. До других відносяться: мідь, латунь, бронза, свинець, олово, більшість титанових сплавів, леговані сталі з великим вмістом хрому та нікелю, загартовані сталі, білий чавун.

Швидкість різання впливає на наріст найбільш складно /рис.4.10.

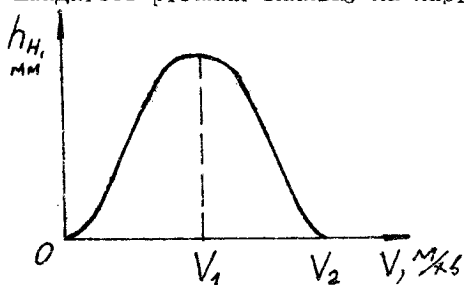


Рис.4.10

В зоні малих швидкостей різання утворюється елементна стружка, яка не просувається по передній поверхні різця і не утворює загальмованого шару. Температура різання недостатня. Із збільшенням швидкості до  $V_1$  стружка стає спочатку східчастю, а потім — зливною. Має місце контакт стружки з передньою поверхнею різця, просування її і тертя. Виникають умови утворення загальмованого шару і зростання наросту. При швидкості різання  $V_1$ , коли температура різання досягає  $300^{\circ}\text{C}$  і наріст має максимальну висоту. З подальшим збільшенням швидкості від  $V_1$  до  $V_2$  температура зростає і наріст зменшується з тієї причини, що висока температура знижує опір матеріалу наросту пластичному зсуву. Нарешті, при

швидкості  $V_2$ , коли температура різання  $T^{\circ}\text{C} \geq 600^{\circ}\text{C}$ , наріст зникає і не утворюється зовсім. Швидкість, яка найбільш сприятлива для наростоутворення, це 10-30 м/хв, тобто, коли температура досягає  $300^{\circ}\text{C}$ .

Збільшення переднього кута приводить до зменшення висоти наросту. Це пов'язано як з температурою різання, так і з умовами тертя на передній поверхні, отже, чим більший передній кут, тим менше тертя на передній поверхні, зменшується можливість виникнення загальмованого шару. Так, при  $\gamma = 45^{\circ}$  наріст не утворюється.

З зростанням товщини зрізу /подачі/ крива залежності наросту від швидкості переміщується в бік меншої швидкості і зростає висота наросту. Старанна обробка контактних поверхонь різця алмазними кругами а також застосування охолоджуючої рідини знижує тертя, а отже і можливість наростоутворення. Крім того, щоб запобігти наростоутворенню, потрібно працювати із швидкістю різання  $V_2$  /рис.4.10/ при якій наріст не утворюється ні за яких обставин.

#### 4.3. Контактні явища на передній поверхні

Поверхня тертя  $C$  на передній поверхні різця /рис.4.11/ складається з двох частин: частка  $C_n$  - пластичного контакту і решта /  $C-C_n$  / - пружного контакту. На частці  $C_n$  розташований загальмований шар, в межах якого стружка переміщується не по передній поверхні, а по загальмованому шару і опір, який чиниться руху стружки, визначається опором зсуву в контактному шарі стружки.

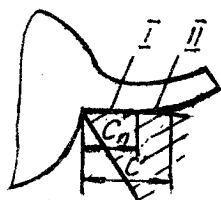


Рис.4.11

На ділянці  $C_n$  зовнішнє тертя ковзання відсутнє і замінюється "внутрішнім" тертям між окремими шарами стружки. На ділянці II стружка контактує безпосередньо з передньою поверхнею різця. Тут має місце зовнішнє тертя ковзання, і опір руху стружки визначається силою тертя між стружкою і передньою поверхнею. Ширина  $C_n$  /пластичного контакту/ залежить від переднього кута різця, товщини зрізу і коефіцієнта усадки стружки. Для визначення ширини пластичного контакту застосовують формулу Н.І. Абуладзе

$$C_n = a [K_L (1 - \lg \delta) + \sec \delta],$$

з якої видно, що при зростанні коефіцієнта усадки  $K_L$  і товщини зрізу  $a$   $C_n$  зростає, а при зростанні  $\delta$  - зменшується.

Співвідношення  $\frac{C_n}{C} \approx 0.5 \div 0.7$

На рис. 4.12 показані епюри контактних напружень: нормальних  $\sigma_N$  та дотичних  $\tau_F$  на передній і задній поверхнях різця, одержаних поляризаційно - оптичним методом [1]

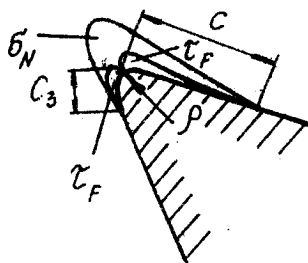


Рис. 4.12

Епюра нормальних напружень безперервна на площинах  $C_3$  і  $C$  передньої і задньої поверхонь, а епюри дотичних напружень на кожній з цих площин самостійні. Нормальні контактні напруження  $\sigma_N$  мають найбільшу величину над ріжучою кромкою, а потім зменшуються по довж передньої і задньої поверхонь різця. Дотичні контактні напруження  $\tau_F$  на ділянці  $C$  спочатку зростають до



максимуму по мірі віддалення від леза, а потім зменшуються до нуля. На ділянці  $C_3$  безперервно зменшуються до нуля.

Підсумовуючи в межах площини контакту нормальні контактні напруження, одержали середню контактну силу  $N$  /рис.4.13/, котру можна прикласти на відстані  $\frac{C}{4}$  від леза різця. Підсумовуючи контактні дотичні напруження, одержимо силу тертя  $F$ .

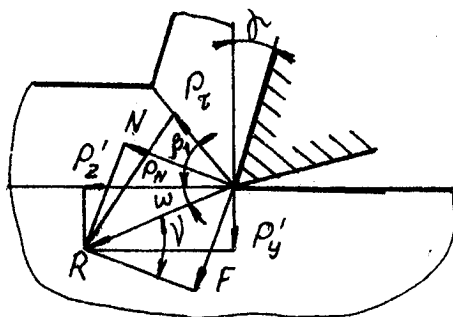


Рис.4.13

При вільному різанні різцем з кутом  $\lambda = 0$  можна визначити сили  $N$  і  $F$ , якщо відомі  $P_z'$  і  $P_y'$  /методика їх визначення буде подана далі/. Рівнодійна цих останніх  $R$  є силою стружкоутворення, нахилена до траєкторії різання під кутом дії  $\omega$ , з рис.4.13 маємо:

$$\begin{aligned} \operatorname{ctg} \omega &= \frac{P_y'}{P_z'} \\ N &= \frac{P_z'}{\cos \omega} \cos(\omega + \gamma) \\ F &= \frac{P_z'}{\cos \omega} \sin(\omega + \gamma) \end{aligned}$$

Середній коефіцієнт тертя визначиться за законом тертя Амонтона:

$$\mu = \frac{F}{N} = \operatorname{tg}(\omega + \gamma);$$

таким чином, кут тертя  $\nu$  на передній поверхні пов'язаний з переднім кутом різця і кутом дії залежність:  $\nu = \omega + \gamma$

Ця формула дозволяє дійти висновку, що при постійному передньому куті різця кут дії зростає при зростанні середнього коефіцієнта тертя /кута тертя/, таким чином кут дії впливає на деформації в зрізуваному шарі. на величину середнього коефіцієнта тертя впливають механічні та теплофізичні властивості оброблюваного та інструментального матеріалів, товщина зрізу /подача/, швидкість різання, ЗОР, передній кут різця та інш.

Збільшення середніх нормальних контактних напружень веде до зменшення  $\mu$  і навпаки /рис.4.14/. [4]

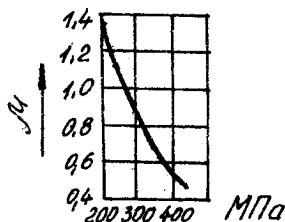


Рис.4.14

Значення  $\mu$  при різанні може досягати 1,2...3. Це дозволяє дати фізичне пояснення виникнення зони вторинної деформації /рис.4.1/. Сила адгезійного схоплювання між контактною поверхнею стружки і лезом різця в багатьох випадках перевищує силу опору руху стружки в шарі, розташованому в її товщі. Контактні шари загальмовуються, а основний об'єм переміщується в повздожньому напрямку за рахунок внутрішніх зсувів. Ці зсуви є вторинна пластична деформація стружки.

Для пари тертя стружка - передня поверхня різця середній коефіцієнт тертя обумовлюється схильністю до адгезійної взаємодії інструментального та оброблюваного матеріалів. Виникнення зв'язків між стружкою і інструментом визначається їх спроможністю утворювати між собою хімічні сполуки і тверді розчини. З підвищенням механічних властивостей оброблюваного матеріалу зменшується середній коефіцієнт

тертя, але при цьому зростають середні нормальні і дотичні напруження. Якщо температура різання змінюється мало, середній коефіцієнт тертя практично не змінюється.

На контактних поверхнях різець-стружка під дією кисню повітря утворюються окисні плівки, які чинять опір адгезії і зменшують середній коефіцієнт тертя. В залежності від інструментального матеріалу  $\mu$  зменшується в такому порядку: найбільший для швидкоріжучих сталей, потім поступово зменшується – однокарбідні і двокарбідні тверді сплави.

Великий вплив на  $\mu$  чинить ЗОР особливо з високою змащувальною дією. З застосуванням таких ЗОР  $\gamma$  і  $\alpha$  практично не впливають на  $\mu$ . Якщо різання ведеться без застосування ЗОР, то зростання  $\gamma$  і  $\alpha$  зменшує  $\mu$ .

Якщо ЗОР утворює на поверхні контакту шар рідини, який не дає можливості утворитися загальмованому шару, то маємо зовнішнє кінетичне тертя, яке підкоряється закону тертя Амонтон-Кулона. При зовнішньому терті середні дотичні напруження пропорційні нормальним  $\bar{F}_F = K \bar{F}_N$ ; в цьому випадку  $\mu$  не залежить від переднього кута та товщини зрізаного шару. Якщо загальмований шар утворюється по всій площині контакту /зовнішнє тертя відсутнє/, то середній коефіцієнт тертя буде характеризувати пластичні деформації, які мають місце в контактному шарі стружки. Опір руху стружки в цьому разі визначається дотичними напруженнями в загальмованому шарі, які дорівнюють, або пропорційні границі текучості матеріалу стружки на зсув.

Беручи до уваги, що на ділянці  $C_n$  – пластичного контакту дотичні напруження незначно змінюються, середній коефіцієнт тертя

$$\mu = \frac{B}{\sigma_N} \quad (B - \text{константа})$$

Можна зробити висновок, що з зростанням середніх нормальних контакт-

них напружень значення  $\mu$  зменшується.

Розглянувши вплив різних факторів на середній коефіцієнт тертя при різанні, був зроблений висновок, який найбільш стисло і чітко сформульований М.Ф.Полетико [7]. "Через складний характер контактних умов при різанні середній коефіцієнт тертя на передній поверхні не є ні коефіцієнтом зовнішнього тертя, ні коефіцієнтом тертя при пластичному деформуванні. Це тільки деяка усереднена характеристика напруженого стану в зоні різання". Тертя при різанні більш правильно подати в такому вигляді

[4] :

$$F = \mu_0 N + \mu_0 N_0,$$

де  $\mu_0 N_0 = Fa$  - складова сили тертя від сил адгезії;

$\mu_0$  - фактичний коефіцієнт тертя, який залежить від "атомно-молекулярної шорсткості" поверхні;

$N$  - нормальна сила. Це дозволяє дійти висновку:

$$\mu = \mu_0 + \mu_a.$$

де  $\mu_0$  - постійна механічна складова коефіцієнта тертя;

$\mu_a$  - змінна /перемінна/ адгезійна складова коефіцієнта  $\mu$ .

#### 4.4. Усадка стружки

Пластична деформація в зоні різання металів зовнішнє виявляється зменшенням довжини  $l_c$  і збільшенням товщини стружки  $a_c$  в порівнянні з довжиною  $L$  і товщиною  $a$  зрізаного шару. Ширина стружки теж збільшується, але існує думка, що це збільшення незначне. Оскільки об'єм стружки в порівнянні з об'ємом зрізаного шару практично не змінюється /точніше змінюється незначно/, то стружка вкорочується в стільки ж разів, в скільки зростає товщина стружки в порівнянні з зрізаним шаром.

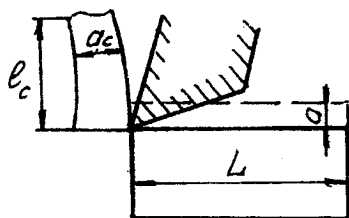


Рис.4.15

Скорочення стружки називається повздовжньою усадкою, а відношення  $K_L = \frac{L}{l_c}$  — коефіцієнтом повздовжньої усадки стружки.

Вище згадувалось, що товщина стружки збільшується в порівнянні з товщиною зрізаного шару в стільки ж разів, в скільки довжина зменшується, отже справедливо буде відмітити, що

$K_a = \frac{a_c}{a}$  — коефіцієнт поперечної усадки стружки і що  $K_L = K_a$ . Коефіцієнт усадки і взагалі усадка стружки не є кількісним показником величини деформації, а є тільки приблизною характеристикою ступеня деформації оброблюваного матеріалу.

І.А.Тіме вперше вивів формулу для визначення усадки стружки. Якщо/рис.4.16/розглянути один елемент утвореної стружки, то кое-

коefficient усадки буде визначатися як:

$$K = \frac{L}{l_c} = \frac{\sin(90 - \beta_1 + \gamma)}{\sin \beta_1} = \frac{\cos(\beta_1 - \gamma)}{\sin \beta_1}$$

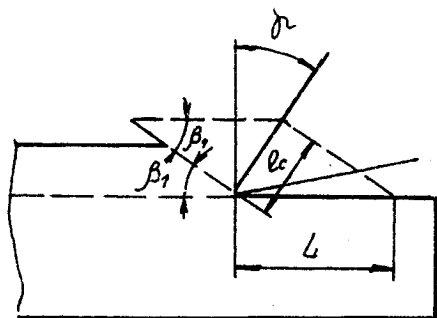


Рис.4.16

В залежності від умов різання coefficient  $K$  може мати величину від 1 до 8 [3].

До факторів, які найбільш впливають на усадку стружки, слід віднести:

1. Фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу;
2. Елементи режиму різання /  $a(S)$ ,  $V$  /
3. Геометричні параметри різця /  $\gamma - \delta$ ,  $\varphi$ ,  $\alpha$  /
4. Змащувально-охолоджуюча рідина.

Розглянемо вплив названих факторів більш докладно.

При різанні пластичних матеріалів coefficient усадки більший, ніж при різанні крихких матеріалів. Наприклад [1], при різанні вуглецевих сталей  $K = 2 \div 6$ , а чавуну -  $K = 1,5 \div 2,5$ . Чим міцніший і твердіший матеріал оброблюваної деталі, тим менша усадка.

Товщина зрізуваного шару /подача/ впливає на усадку стружки таким чином, що з зростанням  $a$  coefficient усадки зменшується.

Це пов'язано з тим, що з зростанням  $a$  а також і подачі  $S$  /тому що між ними є зв'язок  $a = S \cdot \sin \varphi$ / зростає кут зсуву  $\beta$ , [4].

а при зростанні  $\beta$ , зменшується усадка. Є і інша точка зору [3]: деформація по товщині стружки розподіляється нерівномірно. Найбільш повно деформуються шари стружки, які розташовані ближче до контактної поверхні стружки. І чим далі розташований шар стружки від контактної поверхні, ближче до її зовнішньої поверхні, тим меншої деформації він зазнає. Таким чином з зростанням товщини зрізаного шару а отже і подачі усадка зменшується, тобто тонка стружка деформується більш інтенсивно, ніж товста.

Більш складно на усадку стружки впливає швидкість різання. Тут має місце розбіжність для матеріалів схильних до наростотворення і не схильних. Так /рис.4.17/ крива 1 відноситься до обробки матеріалу не схильного до наростотворення. В цьому випадку з зростанням швидкості коефіцієнт усадки спочатку різко, а потім повільно зменшується. Це пов'язано з впливом швидкості різання на коефіцієнт тертя між стружкою і передньою поверхнею різця, бо з підвищенням  $V$  зростає температура на передній поверхні, яка і знижує коефіцієнт тертя.

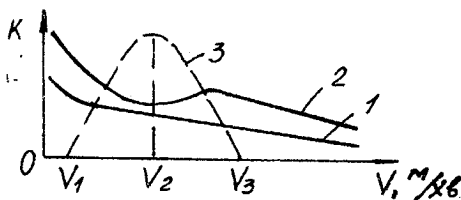


Рис.4.17

При різанні матеріалів, схильних до наростотворення /крива 2/ залежність більш складна. В зоні малих і середніх швидкостей усадка залежить від наросту /крива 3/. При швидкості  $V_1$ , коли нарост не утворюється, коефіцієнт має якусь величину; з зростанням швидкості різання до  $V_2$ , коли температура різання досягає  $300^{\circ}\text{C}$ , нарост найбільший /  $V_n$  - найбільший/, усадка найменша. Подальше зростання швидкості різання до  $V_3$  провокує збільшення

температури різання  $/ > 300^{\circ}\text{C}/$ , що зменшує наріст, і при швидкості  $V_s$  температура  $600^{\circ}\text{C}$  - наріст зникає. При роботі з швидкістю різання, яка перевищує  $V_s$ , усадка стружки залежить тільки від зміни коефіцієнта тертя, як і в випадку обробки матеріалу, не схильного до наростотворення.

При зростанні переднього кута зменшується тертя стружки по передній поверхні, що призводить до зростання кута зсуву  $\beta_1$  /рис.4.18/ I / і як результат - до зменшення усадки.

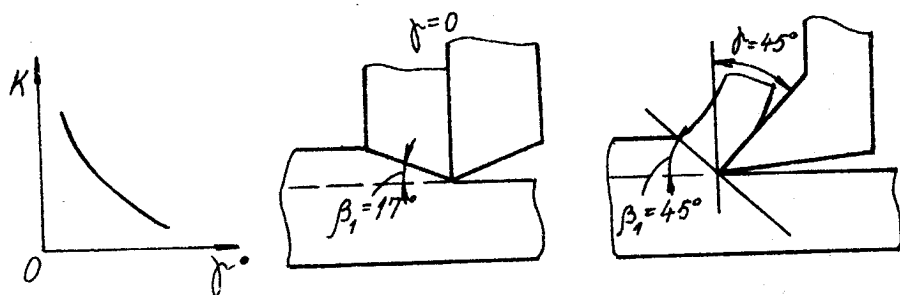


Рис.4.18

На нашу думку, вплив кута  $\gamma$  на усадку можна показати, розглядаючи зони первинної і вторинної деформації /рис.4.1/. Чим більший передній кут, тим гостріше клин різця /менше кут загострення  $\beta_1$  /, зрізуваний шар буде менше протидіяти проникненню ріжучої частини, менше буде деформація в зоні I - первинної деформації; стружка буде з меншим тертям переміщуватися по передній поверхні різця, менше буде деформація в зоні II - вторинної деформації, отже буде менше і усадка стружки.

В більшості джерел не приділено уваги впливу головного кута в плані  $\psi$  і радіуса при вершині в плані  $\tau$ . З нашої точки зору це невірно. Кут  $\psi$  впливає на товщину зрізуваного шару  $a = S \cdot \sin \psi$ . З зростанням  $\psi$  зростає товщина зрізуваного шару, отже зменшується усадка стружки. Що стосується ра-



діуса при вершині  $\alpha$ , то повздож криволінійної ріжучої кромки товщина зрізаного шару  $a$  перемінна з зменшенням до вершини різця, де вона має нульове значення. Ця зміна  $a$  пов'язана з зміною кута  $\varphi$  повздож ріжучої кромки, який теж зменшується при наближенні до вершини, де він має нульове значення. Зменшення товщини  $a$  призводить до зростання усадки стружки.

Застосування ЗОР знижує тертя стружки по передній поверхні різця, отже збільшує кут зсуву  $\beta_1$ , зменшення тертя зменшує деформацію в зоні вторинної деформації. Все це дає можливість зробити висновки, що застосування ЗОР зменшує усадку стружки.

Треба підкреслити, що усадка стружки відбиває тільки зовнішній показник тих деформаційних процесів, які мають місце в зрізаному шарі, але більш повно їх характеризує відносний зсув. Справа в тому, що якщо  $K = 1$ , це не означає, що відносний зсув дорівнює нулю і деформація відсутня.

#### 4.5 Абсолютний та відносний зсув

Пластична деформація при різанні характеризується відносним зсувом  $\epsilon$ , який є ні чим іншим, як інтенсивністю зсуву. Його визначають, як відношення абсолютного зсуву  $\Delta S$  /рис.4.19/ до товщини елемента стружки  $\Delta X$ , тобто  $\epsilon = \frac{\Delta S}{\Delta X}$ .

Елемент зрізаного матеріалу  $ABA'B'$  під тиском ріжучого клину деформується в паралелограм  $ABCD$  /рис.4.19,б/. Винесемо трикутник  $BCN$  в збільшеному вигляді /рис.4.19,в/. В цьому трикутнику

$$BK = \Delta X, \quad \angle MCB = \gamma; \quad CN = \Delta S; \quad \angle BKN = 90^\circ;$$

$$\angle CMB = \beta_1; \quad \angle CBK = \beta_1 - \gamma$$

$$\Delta S = l_1 + l_2; \quad \frac{\Delta S}{\Delta X} = \frac{l_1}{\Delta X} + \frac{l_2}{\Delta X}$$

$$\frac{l_1}{\Delta X} = \operatorname{ctg} \beta_1; \quad \frac{l_2}{\Delta X} = \operatorname{tg} (\beta_1 - \gamma)$$

Тоді відносний зсув можна визначити:  $\epsilon = \frac{\Delta S}{\Delta X} = \operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{tg} (\beta_1 - \gamma)$

Таким чином, відносний зсув при різанні залежить від кута зсуву  $\beta_1$  і переднього кута  $\gamma$ . З зростанням  $\gamma$  зростає  $\beta_1$ . З зростанням кута зсуву  $\beta_1$  зменшується відносний зсув  $\epsilon$ .

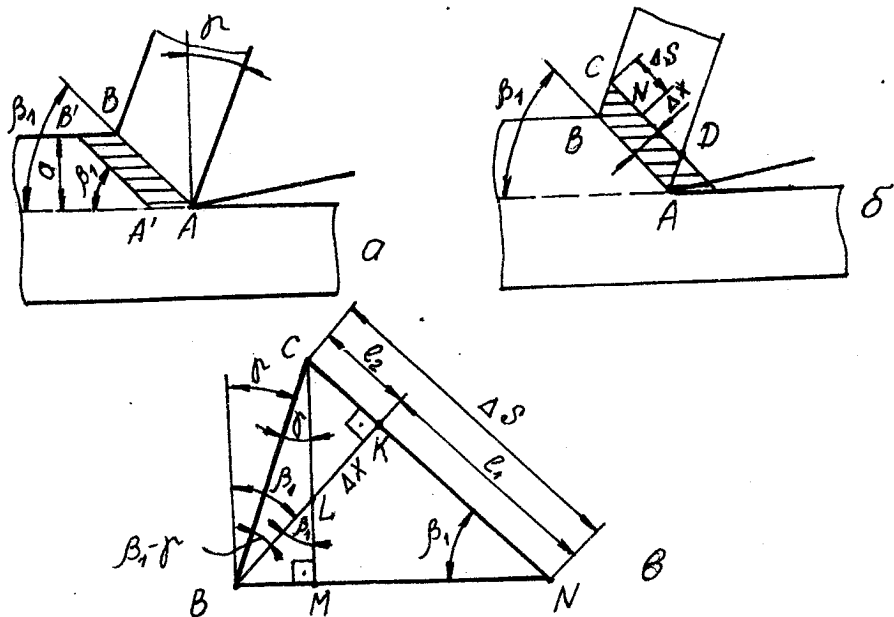


Рис. 4.19

#### 4.6 Якість обробленої поверхні

Якість обробленої поверхні визначається шорсткістю і станом матеріалу поверхневого шару. Шорсткість характеризується висотою і формою мікронерівностей. Стан матеріалу поверхневого шару характеризується його зміцненням /наклепом/.

#### Шорсткість обробленої поверхні

Всі причини виникнення шорсткості поверхні можна розподілити на 3 групи:

I - пов'язані з положенням ріжучих кромок інструмента віднос-

но обробленої поверхні;

2 - пов'язані з пружною і пластичною деформаціями оброблюваного матеріалу;

3 - пов'язані з виникненням вібрацій в системі ВПІД /верстат - пристосування - інструмент - деталь/.

З методичної точки зору мікронерівності можна ділити на розрахункові - слід робочого руху ріжучої кромки /відноситься до першої групи/ і дійсні нерівності /підсумок дії всіх трьох груп/.

Більш детально можна сказати, що під розрахунковими мікронерівностями розуміють такі, висота і форма яких можуть бути визначені за умов: 1. оброблюваний матеріал вважається абсолютно не підлеглим деформації; 2. система ВПІД - абсолютно жорстка; 3. ріжуча кромка інструмента зображає собою геометричні лінії. Такі мікронерівності можуть бути заздалегідь розраховані. Дійсні нерівності це такі, які виникли на обробленій поверхні після проходу ріжучого інструмента і одержані в результаті дії не менше двох, а частіше всіх трьох груп причин. Більш того, можуть додавати свою дію і інші причини, про які мова йтиме нижче.

Дійсні нерівності розрахувати дуже складно і навіть неможливо. Їх вимірюють за допомогою профілометрів і профілографів.

Розрахункові мікронерівності можна визначити аналітичним шляхом:

а/ для різця з прямолінійними ріжучими кромками /рис.4.20/

$$R_{zp} = \frac{S \cdot \sin \varphi \cdot \sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)};$$

б/ для різця з радіусом заокруглення при вершині в плані /рис.4.21/

$$R_{zp} = \frac{S^2}{8z}$$

З наведених формул видно, що чим більші  $S$ ,  $\varphi$ ,  $\varphi_1$  і менший  $z$ , тим висота нерівностей більша і навпаки.

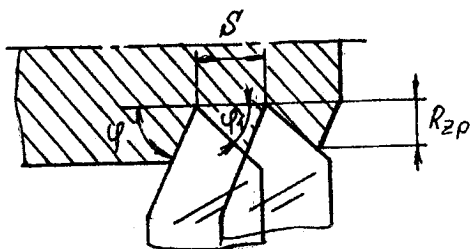


Рис. 4.20

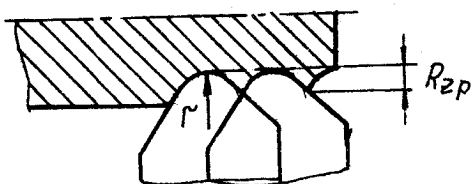


Рис. 4.21

Дійсні нерівності відрізняються від розрахункових /рис.4.22/

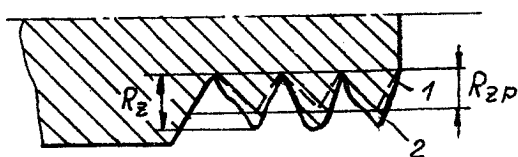


Рис.4.22

1 - розрахункові мікронерівності

2 - дійсні нерівності

Збільшення висоти нерівностей  $R_z$  в порівнянні з  $R_{zp}$  є наслідком наступного:

1. Пластичний плин матеріалу із зони первинної деформації в бік вершин мікронерівностей; чим більший ступінь деформації зрізуваного шару, тим більша інтенсивність пластичного плину в бік уже обробленого гребінця мікропрофіля і тим більша мікронерівність.
2. Коливання системи ВПід під час різання.

3. Нерівності ріжучих кромки, які зростають в міру їх зношування.
4. Тертя задніх поверхонь інструменту по поверхні різання.
5. Виникнення та зникнення наросту.

Фактори  $\varphi$ ,  $\varphi_1$ ,  $\alpha$ ,  $S$ , які впливають на  $R_{20}$ , таким же чином впливають і на  $R_z$ . Але на шорсткість обробленої поверхні впливають також фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу, швидкість різання, властивості ЗОР, задній, передній кут, децю глибина різання.

Значною мірою на шорсткість поверхні впливає об'єм пластичного деформування оброблюваного матеріалу. При обробці пластичних матеріалів найбільший вплив [3] на шорсткість має пластична деформація. Так, маловуглецеві сталі з ферритною структурою дають рвану, нечисту поверхню. З підвищенням твердості матеріалу зменшуються деформації, коефіцієнт тертя, в меншій мірі проявляється адгезія. Швидкість різання значно впливає на шорсткість поверхні. З її зростанням зменшується пластична деформація. При обробці крихких матеріалів, наприклад, чавуну, з малою швидкістю відрив стружки має місце по межах зерен, що створює шорстку поверхню. При великих швидкостях зерна не вириваються, а перерізуються і оброблена поверхня має меншу шорсткість.

З зростанням заднього кута зменшується контакт різця з деталлю, що не знижує якість поверхні.

З зростанням  $\gamma$  /зменшенням  $\delta$  / шорсткість зменшується, тому що зменшується деформація.

Правильно обрана ЗОР може підвищити якість обробленої поверхні на I-2 класи.

#### Наклеп /зміцнення/

Якщо уважно дослідити рис.4.І., то можна побачити, що нижня лінія  $ONMP$  зони первинної деформації на більшій частині своєї довжини залгає нижче траєкторії руху ріжучої кромки. Тобто,

деформація розповсюджується глибше того шару, який перетвориться в стружку. Таким чином, шар металу, який через короткий час стане обробленою поверхнею, вже одержав певну деформацію. Крім того [2,3,4] пластичній деформації передуює пружна, яка після проходження різця прагне/рис.4.23/відновитися, має місце випучування поверхневого шару на величину  $h_{np}$ . Це створює тиск поверхневого шару на задню поверхню, а задня поверхня, в свою чергу, тисне на поверхневий шар, додатково його деформуючи. Якщо взяти до уваги, що лезо інструмента практично завжди має заокруглення  $\rho$ , то в стружку піде не весь шар  $a$ , а тільки частка його  $a_1$ , яка розташована вище точки  $E$ , шар  $a_2$  буде стиснений, здеформований. В результаті дії цих причин в поверхневому шарі деталі метал одержує наклеп, який характеризується: 1. викривленням кристалічної решітки і виникненням внутрішніх остаточних напружень; 2. подрібненням зерен металу; 3. поява текстури, тобто переважне орієнтування зерен в визначеному напрямку.

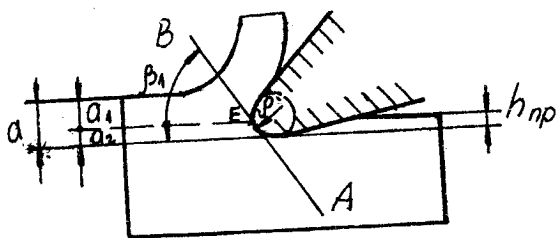


Рис.4.23

Фізико-механічні властивості поверхневого шару визначаються такими факторами:

1. Ступенем наклепу: 
$$\Delta H = \frac{H_n - H_b}{H_b} 100\%$$

де  $H_n$  - мікротвердість наклепаного шару;

$H_b$  - мікротвердість вихідного матеріалу.

2. Глибиною наклепу.

3. Величиною, глибиною і знаком остаточних напружень.

В результаті наклепу зростає мікротвердість поверхневого шару і був час, коли це відносили до позитивного явища, ґрунтуючись на тому, що зростає зносостійкість поверхневого шару. Подальші дослідження показали, що це невірно, тому що зносостійкість в значній мірі залежить від виду напружень /стискаючі та розтягуючі/. Крім того, можливості зміцнення металу за рахунок його наклепу обмежені. Так, при надмірному пластичному деформуванні може утворитися "перенаклеп" металу, що приведе до утворення тріщин, луцення і т.д. і, як наслідок, зниження зносостійкості. Якщо в поверхневому шарі переважають розтягуючі напруження, то якість поверхні знижується, тому що при цьому зменшується границя втомленості, а якщо остаточні напруження перевищують границю міцності матеріалу оброблюваної деталі, то це може призвести до утворення тріщин втомленості.

При обробці більшості пластичних матеріалів розташування напружень в поверхневому шарі показано на рис. 4.24 .

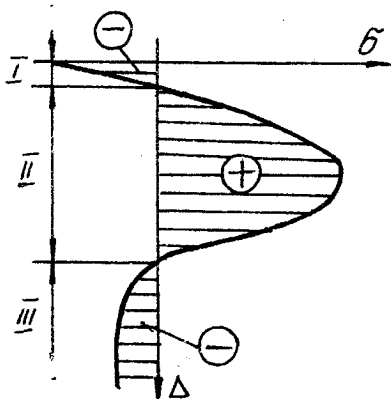


Рис. 4.24

На цьому рисунку показана епогра зміни остаточних напружень в залежності від відстані  $\Delta$  від обробленої поверхні. В дуже тонкому шарі товщиною 0,001 - 0,004 мм /зона I/ діють стискаючі

напруження. В зоні II, довжина якої залежить від режиму різання і переднього кута інструменту, діють розтягуючі напруження. Довжина зони II в десятки раз перевищує довжину зони I. З цієї причини стан поверхневого шару визначає характер і величину напруження в зоні II. В зоні III остаточно напруження стискаючі. Таким чином, при обробці пластичних матеріалів визначальними є напруження розтягуючі зони II.

При обробці матеріалів різанням одночасно діють значні сили різання, які утворюють наклеп, і температура різання, яка може викликати зняття напружень і ліквідацію наклепу через рекристалізацію, відпочинок, тобто відновити властивості, які метал мав до пластичної деформації. В зв'язку з цим зміна режимів різання і геометрії інструменту, які викликають зростання сил різання і ступеня пластичної деформації, веде до підвищення ступеня наклепу. Збільшення тривалості їх дії на поверхневий шар призводить до збільшення глибини розповсюдження наклепу.

Величина і глибина залягання остаточно напружень залежать від переднього кута інструмента, подачі /товщини зрізаного шару/, швидкості різання, ступеня зносу інструмента. При збільшенні швидкості різання абсолютна величина розтягуючих остаточно напружень зростає, але глибина їх залягання зменшується. При швидкості  $V > 150 - 170$  м/хв швидкість різання не впливає на остаточно напруження. Зростання подачі також збільшує величину розтягуючих напружень, але при цьому дещо росте і глибина їх залягання. При переході від  $+ \gamma$  до  $- \gamma = - 15^\circ$  розтягуючі напруження різко зменшуються, але одночасно зростає глибина їх залягання.

При зростанні зносу інструмента збільшується і величина розтягуючих остаточно напружень і глибина їх залягання.

#### 4.7 Робота різання.

Якщо відома сила, яка співпадає з напрямком вектора швидкості



ті, то хвилину роботу можна записати як:

$$A = P \cdot V \frac{H \cdot M}{X B}$$

Робота різання буде складатись з трьох складових:

$$A = A_{деф} + A_{тп} + A_{тз},$$

де  $A_{деф}$  - хвилична робота, витрачена на деформацію зрізаного шару;

$A_{тп}$  - хвилична робота, витрачена на тертя по передній поверхні;

$A_{тз}$  - хвилична робота, витрачена на тертя по задній поверхні.

$A_{деф}$  складає приблизно 55% від загальної роботи різання.

$A_{тп}$  - 35% і  $A_{тз}$  - 10%.

Всі три складові роботи різання можна розписати через відповідні сили і швидкості

$$A = P_z \cdot V = P_{zc} \cdot V_{zc} + F_n V_n + F_z \cdot V_z,$$

де  $P_z$  - сила різання, яка діє в напрямку, співпадаючому з вектором швидкості різання  $V$ .

$P_{zc}$  - сила зсуву / сила в площині зсуву, Н.

$V_{zc}$  - швидкість зсуву, м/хв.

$F_n$  - сила тертя на передній поверхні різця, Н

$V_n$  - швидкість руху стружки по передній поверхні інструмента, м/хв:

$$V_n = \frac{V}{K},$$

де  $V$  - швидкість різання;  $K$  - коефіцієнт повздовжньої усадки стружки;  $F_z$  - сила тертя по задній поверхні різця, Н

$V_z$  - швидкість руху обробленої поверхні відносно задньої поверхні інструмента, м/хв, вона дорівнює швидкості різання, тобто

$V_z = V$  Якщо взяти до уваги, що сили, які діють на задній поверхні інструмента, в стружкоутворенні участі не приймають, то сума

$A_{деф} + A_{тп} = A_c$  - є робота стружкоутворення.

Питома робота різання визначається як:

$$e = \frac{A_{деф}}{a\delta V} + \frac{A_{тп}}{a\delta V} + \frac{A_{тз}}{a\delta V} = e_{деф} + e_{тп} + e_{тз},$$

де  $a\delta V$  /товщина зрізу, ширина зрізу, швидкість різання/—  
об'єм зрізуваного шару за 1 хвилину

Сума  $e_{деф} + e_{тп}$  - питома робота стружкоутворення.

#### 4.8 Сили різання при точінні

Якщо при механічних випробовуваннях деформація є результатом дії сили, то при різанні навпаки, сила визначається деформацією. Це основна причина виникнення сили різання, але не єдина, бо є і інша причина - тертя.

Отже причинами виникнення сил різання є деформація і тертя. Раніше /рис.4.12/ йшла мова про нормальні  $\sigma_n$  і дотичні  $\tau_f$  напруження на передній і задній поверхнях. Результатом цих напружень буде виникнення сил на передній і задній поверхнях. При зрізуванні шару металу на передній поверхні діють нормальні і дотичні сили і рівнодія цих сил є силою опору матеріалу руху різачки.

На задній поверхні має місце /особливо при обробці пластичних матеріалів/ пружна післядія - пружна відбудова поверхні різання на величину пружних деформацій. В результаті цього поверхня різання тисне на задню поверхню інструмента нормальною силою  $P_3$  /рис.4.25/ Нормальний тиск на передню поверхню  $P_n$  і рух стружки

створюють силу тертя на передній поверхні  $F_n = P_n \cdot \mu_n$ . Нормальний тиск на задню поверхню  $P_3$  і рух різання створюють

$F_3 = P_3 \mu_3$ , де  $\mu_n$  і  $\mu_3$  - коефіцієнти тертя на передній і задній поверхнях різця. Якщо скласти сили на передній поверхні, одержимо рівнодіяну  $R_n$  сил, які діють на передній поверхні. Ана-

логічну дію проведемо на задній поверхні і одержимо рівнодіяну  $R_3$  сил, які діють на задній поверхні.

Використовуючи правило теоретичної механіки, перенесемо сили

$R_n$  і  $R_3$  по лініях їх дій в точку  $O$ . Склавши ці сили, одержимо силу  $R$  - рівнодійну всіх сил опору різання.

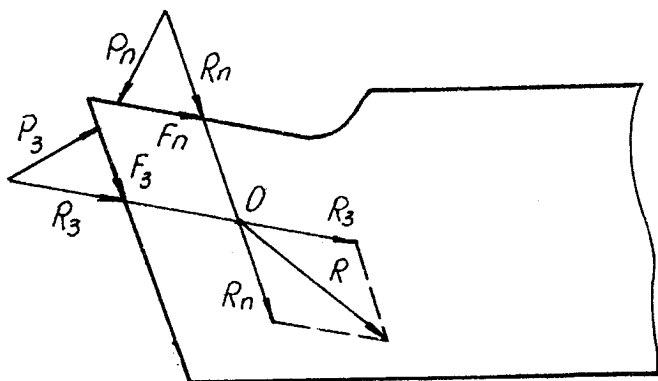


Рис.4.25

Але мати справу з рівнодійною  $R$  незручно з тієї причини, що складно визначити її положення в просторі. Наприклад, незначні зміни  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\varphi$  і т.д. змінять напрямок сили  $R$ . Для того, щоб уникнути цієї незручності, рівнодійну  $R$  розкладають на проєкції по осях координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  /рис.4.26/, напрямком яких відомий. Це дає можливість виміряти проєкції /складові/  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$ , а рівнодійну  $R$  можна визначити за допомогою формули:

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

Складова  $P_z$  - розташована дотично до поверхні різання і зветься тангенційною; складова  $P_y$  - перпендикулярна осі заготовки і начебто відштовхує різець від заготовки. Ця складова має назву - радіальна; складова  $P_x$  - осьова складова; вона розташована паралельно осі заготовки і протидіє руху подачі. Інколи її називають "сила подачі".

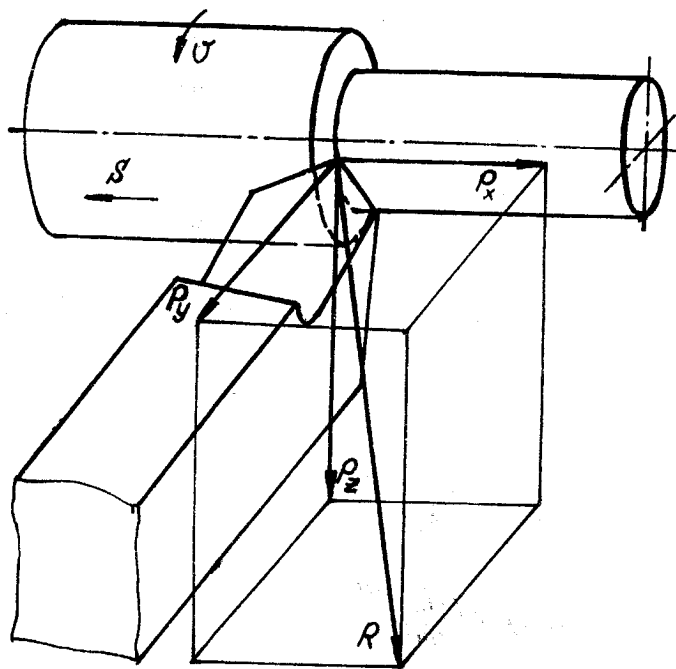


Рис.4.26

Фактори, які впливають на сили різання.

На сили різання найбільше впливають наступні фактори:

1. Фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу.
2. Елементи режиму різання /  $t$  ,  $S$  ,  $V$  /.
3. Геометричні параметри різця /  $\gamma - \delta$  ,  $\varphi$  ,  $\alpha$  /.
4. Змащувально-охолоджуюча рідина.

Розглянемо вплив кожного вище згаданого фактора на силу різання.

1. Фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу. При зрізуванні стружки зрізуваний шар зазнає пластичної деформації. Крім цього переміщення стружки по передній поверхні і поверхні різання відносно задньої поверхні різця викликають тертя на цих поверхнях. Таким чином, сили різання залежать від міцності, твердості оброблюваного матеріалу і тертя між інструментальним та оброблюваним мате-

ріалами. Але деформація і тертя не постійні, вони можуть змінюватись в залежності від температури різання, бо температура, яка виникла під впливом деформацій та тертя, впливає на величини деформації і тертя. Тому немає точної та однозначної залежності між силою і границею міцності оброблюваного матеріалу. Але все ж таки більш-менш точно можна визначити вплив оброблюваного матеріалу на силу різання через границю міцності  $\sigma_B$  при обробці пластичних матеріалів і через твердість HB при обробці крихких матеріалів. Цей вплив можна подати в вигляді формул:

$$K_{mp1} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^{n_{p1}} \quad \text{при точінні сталі,}$$

$$K_{mp2} = \left( \frac{HB}{190} \right)^{n_{p2}} \quad \text{при точінні сірого чавуну.}$$

де  $K_{mp1}$  - коректувальний коефіцієнт для сталі з конкретним  $\sigma_B$  в порівнянні з  $\sigma_B = 750$  МПа;

$K_{mp2}$  - коректувальний коефіцієнт для чавуну з конкретним HB в порівнянні з HB = 190

$n_{p1}$  і  $n_{p2}$  - показники степеня.

При різанні твердосплавними різцями сталі показник степеня для сили  $P_z$   $n_{p1} = 0,75$ , для сили  $P_y$   $n_{p1} = 1,35$ , для сили  $P_x$   $n_{p1} = 1,0$ .

При точінні твердосплавними різцями сірого чавуну для сили  $P_z$   $n_{p2} = 0,4$ , для сили  $P_y$   $n_{p2} = 1,0$ , для сили  $P_x$   $n_{p2} = 0,8$ .

## 2. Елементи режиму різання.

Перш за все вплив глибини і подачі на сили різання. На наш погляд вплив більшості факторів /особливо  $t$ ,  $S$ ,  $\delta$ ,  $\varphi$ ,  $z$  / на сили різання треба розглядати по такій схемі:

1. вплив фактора на деформацію;
2. вплив фактора на тертя;
3. висновок по силі різання.

В [1] сказано, що головна складова сили різання залежить від того ступеня деформації, яку одержав зрізуваний шар при перетворенні його в стружку.

При зростанні глибини різання і подачі росте площа перерізу зрізу, що викликає зростання всіх складових сил різання. Але глибина різання на складові сили різання впливає сильніше, ніж подача. Неоднакова інтенсивність впливу глибини різання і подачі викликана їх неоднаковою дією на ступінь деформації зрізуваного шару.

Так зі зростанням глибини різання /рис.4.27а/ в стільки ж разів росте ширина зрізуваного шару  $b$  і в стільки ж разів, за рахунок  $b$ , зростає площа зрізу. Товщина зрізу  $a$  не змінюється. Таким чином, з зростанням площі зрізу зростає об'єм матеріалу, який підлягає деформуванню, в стільки ж разів зростає ширина зрізу  $b$ , а отже і довжина площі тертя між заготовкою і задньою поверхнею різця.

Оскільки товщина зрізу  $a$  не змінюється, не змінюється і ступінь деформації. Таким чином, всі причини зростання сили різання зростають прямо пропорційно зростанню глибини різання, тобто  $P_z = C_{pz} \cdot t^X$ ,

де  $C_{pz}$  - постійний коефіцієнт, який враховує умови різання;  
 $X$  - показник степеня, який дорівнює 1,0.

З зростанням подачі /рис.4.27б/ площа зрізуваного шару зростає пропорційно зростанню подачі, але це зростання від-

бувається за рахунок збільшення товщини зрізу. При зростанні товщини зрізу зменшується коефіцієнт усадки стружки, тобто зменшується ступінь деформації. З цієї причини зростання подачі призводить до зростання сили не прямо пропорційно, а дещо менше:

$$* P_z = C_{pz} t^x S^y, \text{ де } y = 0.75$$

Тим більш, що тертя практично не змінюється, бо ширина зрізу в цьому випадку не змінюється.

В [1] формула \* подана в вигляді:

$$** P_z = C_{pz} b^x a^y (\sin \varphi)^{x_p - y_p}$$

це виходить з того, що  $b = \frac{t}{\sin \varphi}$ ,  $a = S \cdot \sin \varphi$

Якщо кут  $\varphi = const$ , то \*\* можна записати:  $P_z = C'_{pz} \cdot b^x S^y$

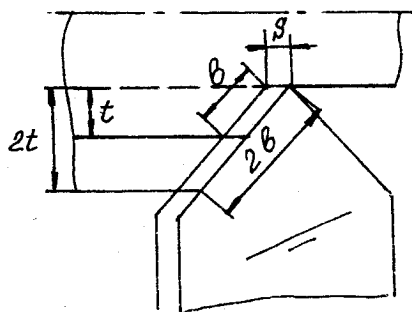


Рис.4.27а

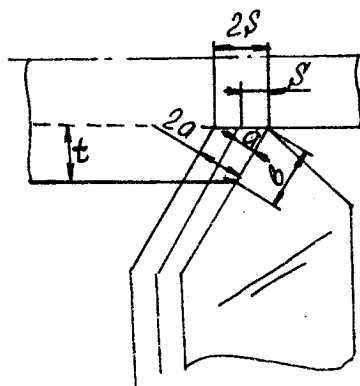


Рис.4.27б

Таким чином, ширина зрізаного шару впливає на силу  $P_z$  більш сильно, ніж товщина.

Вплив швидкості різання на силу різання в літературних джерелах розглядають у відриві від явищ, які супроводжують процес різання. На наш погляд, ми робимо спробу пов'язати вплив швидкості різання на силу різання через ряд фізичних явищ. На

рис.4.28 показані графіки впливу швидкості різання при точінні пластичних матеріалів, схильних до наросту стружки

на: а - температуру різання, б - нарiст, в - усадку стружки, г - коефiцiєнт тертя, д - силу рiзання.

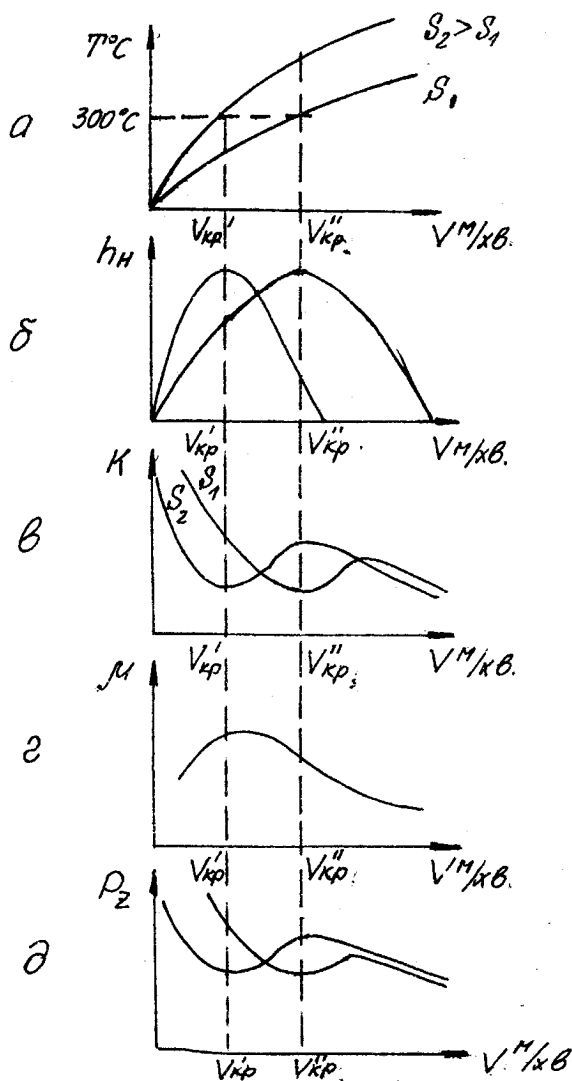


Рис. 4.28

При точінні з подачею  $S_1$  рис.4.28 при швидкості  $V_{кр}'$  буде досягнута температура  $300^{\circ C}$ . При цій температурі, нарiст має



максимальну висоту /графік б/. Коли наріст має максимальну висоту усадка / б / мінімальна, при зростанні швидкості до величини, коли  $T^{\circ}C \geq 600^{\circ}C$ , наріст зникає, а усадка дещо зменшується, бо під впливом високої температури зменшується коефіцієнт тертя  $\mu$  /графік г/. Отже сила різання від швидкості різання змінюється в залежності від наросту, усадки і коефіцієнта тертя. Доказом тісного зв'язку зміни сили різання з перерахованими фізичними явищами можуть стати графіки, які збудовані для випадку роботи з більшою подачею  $S_2 > S_1$ . Всі екстремуми на них перемістилися в бік меншої швидкості  $V_{кр}$ . Те ж саме відбувається і з кривою залежності сили різання від швидкості.

Якщо взяти до уваги, що в наш час металообробка застосовує різці твердосплавні, які працюють з швидкостями значно більшими, ніж швидкість наросту/створення, то лівою частиною графіка можна знехтувати. Права частина графіка /при швидкості різання, яка викликає  $T^{\circ}C > 600^{\circ}C$ / показує, що з зростанням швидкості різання зменшується коефіцієнт тертя, отже дещо знижується сила різання. Ступінь впливу швидкості на силу різання  $P_z \quad \eta_{pz} = -0,15$

Тобто

$$P_z = C_{pz} \cdot t^{x_{pz}} S^{y_{pz}} V^{\eta_{pz}}$$

### 3. Геометричні параметри різця

а/ передній кут  $\gamma$  /кут різання  $\delta$  /. З зростанням  $\gamma$  /зменшенням  $\delta$  / ріжучий клин стає гостріший і легше заглиблюється в зрізуваний шар, менша деформація в зоні первинної деформації /рис.4. /, зростає кут зсуву  $\beta_1$ , що зменшує ступінь деформації [4], зменшується нормальний тиск на передню поверхню, отже зменшується тертя і вторинна деформація. Зменшується і сила різання. І навпаки.

б/ кут  $\varphi$ . Головний кут у плані  $\varphi$  впливає перш за все на співвідношення товщини і ширини зрізуваного шару:  $b = \frac{t}{\sin \varphi}$ ,  
 $a = S \sin \varphi$ .

Але товщина і ширина зрізу з зростанням  $\varphi$  від малих його значень до  $90^\circ$  змінюються неоднаково інтенсивно/рис.4.29/, так в зоні кутів  $\varphi$  до  $60^\circ$  зростання  $\varphi$  призводить до різкого зростання  $a$  і різкого зменшення  $b$ . В зоні кутів  $\varphi$  більше  $60^\circ$  зростання кута призводить до незначного зростання  $a$  і незначного зменшення  $b$ . Якщо взяти до уваги, що з зростанням  $a$  зменшується ступінь деформації, з зменшенням  $b$  зменшується довжина контакту різця з поверхнею різання, а отже зменшується тertia по задній поверхні різця, то, розглядаючи графіки/рис.4.29/, можна дійти висновку, що сила різання з зростанням кута  $\varphi$  до  $60^\circ$  /рис.4.30/ різко зменшується, а вище  $60^\circ$  зменшується незначно.

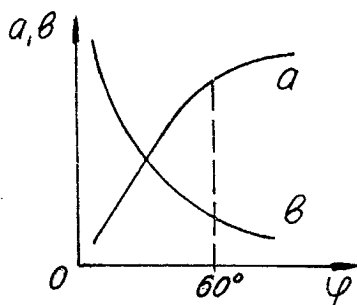


Рис.4.29

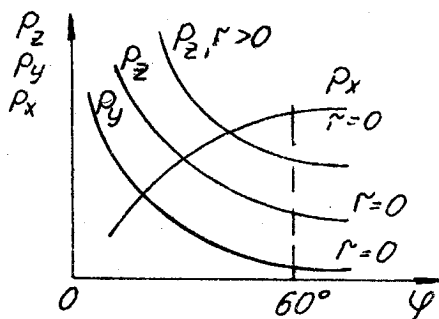


Рис.4.30

Такий же характер залежності складової  $P_y$  від кута  $\varphi$  /рис.4.30/, а  $P_x$ , навпаки, з зростанням  $\varphi$  зростає. Але все це стосується випадку, коли різець має радіус при вершині у плані  $r = 0$ . Якщо  $r = 0$ , то сила  $P_z$  залежить від двох конкуруючих факторів: з зростанням  $\varphi$  зростає товщина зрізу  $a$ , що викликає зниження ступеня деформації. Одночасно зростає довжина криволінійної частини леза, що, в свою чергу, викликає зростання ступеня деформації. В зоні кутів  $\varphi \leq 60^\circ$  переважає фактор різкого зростання товщини зрізу, а криволінійна частка леза зростає не-

значно, а при  $\varphi > 60^\circ$  переважає більш різке зростання довжини криволінійної частини леза, що і викликає зростання сили на цій частині графіка.

4. Застосування ЗОР знижує тертя, отже збільшує кут зсуву  $\beta_1$ , зменшується деформація і сила різання.

Таким чином, розглянувши вплив різних факторів на силу різання, наведемо узагальнені формули для підрахунків сил різання при точінні:

$$P_z = C_{pz} t^{x_{pz}} S^{y_{pz}} V^{n_{pz}} K_{pz} H;$$

$$P_y = C_{py} t^{x_{py}} S^{y_{py}} V^{n_{py}} K_{py} H;$$

$$P_x = C_{px} t^{x_{px}} S^{y_{px}} V^{n_{px}} K_{px} H;$$

де  $C_{pz}$ ,  $C_{py}$ ,  $C_{px}$  - постійні коефіцієнти, які характеризують вплив умов різання на сили різання,

$$K_{pz} = K_{mpz} \cdot K_{\varphi pz} K_{\gamma pz} K_{\lambda pz} K_{zop};$$

$$K_{py} = K_{mry} K_{\varphi ry} K_{\gamma ry} K_{\lambda ry} K_{zop};$$

$$K_{px} = K_{mrx} K_{\varphi rx} K_{\gamma rx} K_{\lambda rx} K_{zop};$$

де  $K_{\lambda}$ ,  $K_{\varphi}$ ,  $K_{\gamma}$ ,  $K_{\lambda}$ ,  $K_{zop}$  - коректувальні коефіцієнти на неспівпадання тих умов різання, які закладені в  $C_p$  з реальними по оброблюваному матеріалу, куту  $\varphi$ , куту  $\gamma$ , куту  $\lambda$  та змащувально охолоджуваної рідини.

#### Потужність різання при точінні

Якщо визначені сили різання, то можна визначити потужність

різання, яка потрібна для виконання процесу різання. Ця потужність називається "ефективною", тому що це та потужність, яка витрачається на процес зрізання стружки і не включає витрати потужності на подолання сил тертя в механізмах верстата.

$$N_{\text{эф}} = N_{Pz} + N_{Py} + N_{Px} \quad , \text{ або}$$

$$N_{\text{эф}} = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 1020} + \frac{P_y V_y}{60 \cdot 1020} + \frac{P_x S n}{60 \cdot 1020 \cdot 1000} \text{ кВт} ,$$

$V_z$  ,  $V_y$  - швидкості в напрямку дії відповідної сили;

$V_z = V$  - швидкість різання;  $V_y$  повинна дорівнювати нулю /  $V_y = 0$  / тому що в радіальному напрямку різець не повинен переміщуватися, для цього він міцно закріплюється в різцетримачу.

Отже  $N_{Py} = 0$ , а потужність від сили  $P_x$  /механізму подачі/ складає не більше 1-3%, на цій підставі можна дійти висновку що:

$$N_{\text{эф}} = \frac{P_z V}{60 \cdot 1020} \text{ кВт}$$

Повна потужність з врахуванням витрат на тертя

$$N_{\text{мот}} = \frac{N_{\text{эф}}}{\eta} ,$$

де  $\eta$  - ККД верстата.

Дія сил  $P_z$  ,  $P_y$  ,  $P_x$  на інструмент, заготовку, верстат.

Дія сил на різець. Складова  $P_z$  згинає різець в вертикальній площині, складова  $P_y$  прагне відштовхнути різець від заготовки в горизонтальній площині і вивернути його з різцетримача.

Чим більше виліт різця  $l_p$  /рис.4.31/, тим більше буде згинаючий момент  $M_{zz} = P_z l_p \text{ нм}$  , тим більшим повинен бути переріз тіла різця  $B \times H$  . Щоб запобігти зміщуванню різця від дій сил  $P_y$  і  $P_x$  він повинен міцно кріпитися в різцетримачі. На практиці ведуть розрахунки різця тільки на плоский згин по складовій  $P_z$  .

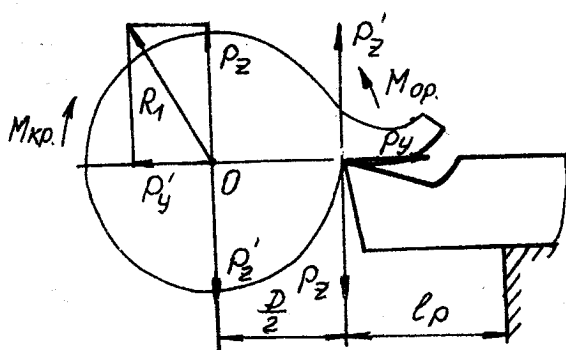


Рис.4.31

Сила  $P_z$  створює великі напруження і в ріжучій частині різця - в пластинці. В залежності від форми передньої поверхні різця і значення переднього кута пластинка може отримати деформації згину, зрізу, стиску. Треба працювати в таких умовах, щоб напруження, викликані силою  $P_z$ , не перевершували границі міцності пластинки. Що є найбільш важливим для твердого сплаву, мінерало-кераміки, алмазу, кубічного нітриду бору, композитам, тому що вони мають значну крихкість.

#### Дія сил на заготовку.

На різець діють складові  $P_z$  і  $P_y$ , а на заготовку їх реакції  $P_z'$  і  $P_y'$ . Якщо  $P_y'$  перенести в центр  $O$  заготовки /рис.4.31/ а також прикласти в центрі  $O$  дві рівних протилежно направлених сили  $P_z$  і  $P_z'$ , то сила  $R_s = \sqrt{P_z^2 + P_y'^2}$  буде згинати заготовку, а пара сил від  $P_z'$  утворює момент опору різанню  $M_{оп} = \frac{P_z' \cdot D}{2}$  нм. Для успішного різання потрібно, щоб момент опору різанню був перевершений крутячим моментом верстата:

$$M_{кр} > M_{оп}; M_{кр} = 9750 \frac{N_{эф}}{n} \text{ нм.}$$

де  $N_{эф}$  - ефективна потужність,

$n$  - частота обертання,  $1/\text{хв}$ .

Складова  $P_y'$  згинає заготовку в горизонтальному напрямку. При недостатній жорсткості ВПІД ця сила може викликати вібрації. Су-  
місно з складовою  $P_z'$  вони утворюють силу  $R_1$ , яка згинає  
заготовку і впливає на точність геометричної форми обробленої по-  
верхні /наприклад, бочкоподібність/.

Сила  $P_x'$  /рис.4.32/ притискує заготовку до переднього центру,  
або прагне зрушити її в осьовому напрямку в затисненому патроні.

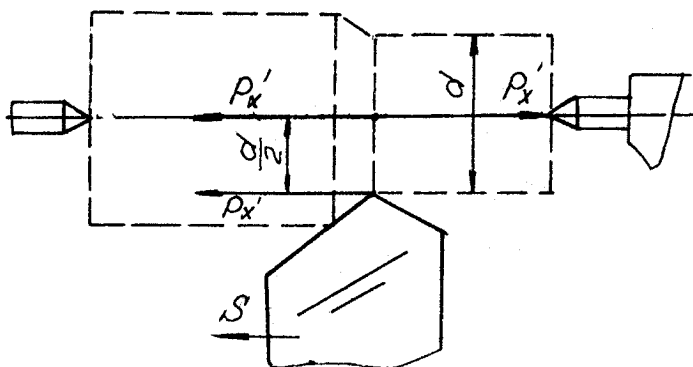


Рис.4.32

Крім того  $P_x'$  створює момент  $M_x = \frac{P_x' \cdot d}{2}$  НМ, який  
прагне вивернути заготовку з центрів.

#### Дія сил на верстат

Сила  $P_z$  є визначальною для вибору верстата за потужністю.  
Крім того по ній ведуть розрахунки на міцність деталей механізму  
головного руху, супорта та станини. Сила  $P_z'$  через заготовку діє  
на центри і задню бабку.

Складова  $P_y$  діє через різець на супорт та станину, а  $P_y'$   
через заготовку на підшипники шпінделя в радіальному напрямку, цент-  
ри і задню бабку.

Складова  $P_x$  через різець діє на механізм подачі верстата,  
а сила  $P_x'$  через заготовку - на шпіндель і його опори в осьо-  
вому напрямку. За цією силою ведуть розрахунки на міцність деталей

механізма подачі верстата, фартуха і підшипників шпінделя верстата в осьовому напрямку.

#### 4.9. ЗНОС РІЗЦІВ

В результаті високих тиску, температури та швидкості відносного переміщення контактні поверхні різця зношуються.

Різець може зношуватись:

І. Тільки по задній поверхні - знос першого виду /рис.4.33а, б/

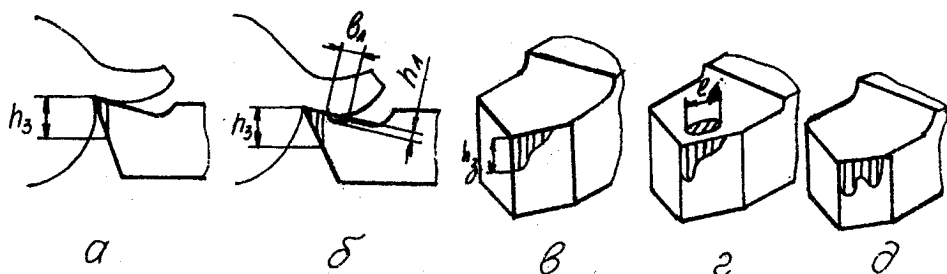


Рис.4.33

2. По задній і передній поверхні - знос другого виду /рис.4.33б, г/

Знос першого виду полягає в тому, що з боку задньої поверхні утворюється площина зносу висотою  $h_3$ , на якій різець втрачає задній кут  $\alpha$ . Ця площина зносу нерівномірна позадвож ріжучої кромки - максимальний знос біля вершини різця, а в міру віддалення від неї - зменшується /рис.4.33в/.

Знос другого виду полягає в тому, що одночасно зі зносом задньої поверхні /як при зносі першого виду/ має місце знос на передній поверхні в вигляді лунки зносу глибиною  $h_1$ , шириною  $b_1$  і довжиною  $l_1$ . При черновій обробці заготовки з твердою ливарною або кузнечною кіркою може бути двозікий знос /рис.4.33д/.

Обидва види зносу мають місце при роботі з нормальними /опти-

мальними/ режимами різання. Якщо працювати різцем із швидкоріжучої сталі зі швидкістю, що значно перевищує допустиму, то можна одержати знос тільки по передній поверхні.

При роботі різцем [I] із швидкоріжучої сталі /тобто з середніми швидкостями різання/ при точінні сталі між краєм лунки і ріжучою кромкою лишається перемичка, котра зменшується в міру розширення лунки /розвитку зносу/. Це пов'язано з наростом, який має місце при середніх швидкостях різання. В результаті стружка контактує з наростом, а потім, на якомусь віддаленні від ріжучої кромки, з передньою поверхнею різця, де і утворює лунку.

При роботі твердосплавним різцем з великою швидкістю різання /коли нарост відсутній/ край лунки зливається зі зносом по задній поверхні /рис.4.34/



Рис.4.34

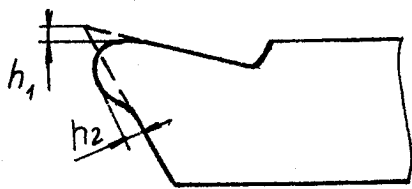


Рис.4.35

При роботі твердосплавним різцем в умовах високих силових та теплових навантажень знос різця може передувати пластичне деформування вершини, яке виявляється в вигляді опускання вершини  $h_1$  і випучування на задній поверхні  $h_2$ . На одержання того чи іншого виду зносу впливають умови різання і перш за все фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу, товщина зрізу  $a(S)$ , швидкість різання. При обробці крихких матеріалів знос буває тільки першого виду, а пластичних – і першого, і другого видів. Знос першого виду при обробці пластичних матеріалів буде мати місце при роботі з малими товщинами зрізу, коли стружка не чинить тиску на передню поверхню і не зношує її, а також при точінні з малою швидкістю рі-



зання, коли стружка повільно просувається по передній поверхні і теж не зношує її. При зростанні товщини зрізу /подачі/ і швидкості має місце знос другого виду і чим більша швидкість різання, тим більший знос по передній поверхні.

Мірою зношеності інструменту може бути лінійний і масовий зноси. Якщо взяти за показник лінійний знос, то про зношеність задньої поверхні судять по максимальній висоті  $h_3$  площини зносу, а передньої поверхні – по максимальній глибині лунки  $h_1$ .

При чистовій розмірній обробці зношеність інструменту зручно оцінювати лінійним зносом  $e_1$  /рис.4.36/ з тієї причини, що це впливає на розмір обробленої поверхні. Для дослідів фізики зношування краєм мірою є масовий знос в міліграмах.

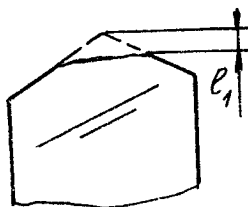


Рис.4.36

Які ж фізичні явища спричиняють до зносу?

До головних причин зносу треба віднести:

1. абразивна дія з боку стружки і поверхні різання;
2. адгезійна взаємодія між матеріалом інструменту і деталі;
3. хімічне зношування;
4. дифузійне розчинення.

І. Абразивна дія. При терті контактних поверхонь інструменту, стружки та поверхні різання тверді мікрочастини оброблюваного матеріалу дряпають їх. Це такі мікрочастини як: цементит, складні карбіди в сталях; цементит, фосфід в чавунах, інтерметаліди в жаротривких сталях; частки наросту, кірка ливарна та кузнечна

теж дряпають контактні поверхні.

2. Адгезійна взаємодія проявляється при середніх швидкостях різання. Встановлено, що схоплення металів, тобто виникнення міцних короткочасних з'єднань між поверхнями, які стискаються, утворюється в твердому стані в результаті сумісного пластичного деформування хімічно чистих контактуючих поверхонь. Необхідний для схоплення енергетичний стан може досягатися за рахунок підвищення температури і за рахунок сумісного пластичного деформування.

При контактуванні одноіменних матеріалів схоплення починається при температурі [1]  $T^0 = /0,3 - 0,4/T_{пл}^0$ , а різноіменник -  $T^0 = /0,35 - 0,5/T_{пл}^0$ , де  $T_{пл}$  - температура плавлення. В зв'язку з високим контактним тиском в точках зіткнення виступів фактичних площин контакту інструменту, стружки та поверхні різання виникають локальні пластичні деформації з високою температурою. В результаті утворюються місточки схоплювання. При русі інструменту має місце зруйнування цих містків і поновлення їх. З точки зору Н.Н.Зорева [1], періодичне схоплення і зруйнування адгезійних сполук викликає циклічне навантажування поверхневого шару інструментального матеріалу. В порівнянні з оброблюваним матеріалом матеріал ріжучої частини більш твердий та крихкий і руйнування відбувається саме за його рахунок.

3. Хімічне зношування. Відомо, що твердий сплав схильний до корозії при його нагріві в середовищі кисню. Так, при  $T^0C = 700-800^0C$  кисень повітря вступає в хімічну реакцію з кобальтовою фазою та карбідами вольфраму і титану, до речі, найбільш активно реагує кобальт. Тверді сплави пористі, завдяки чому окислюються не тільки контактні поверхні, але і зерна тв. сплава, які залгають на деякій відстані від поверхні. Продукти окислення кобальтової фази  $Co_3O_4$  і  $CoO$  та карбідів  $WO_3$ ,  $TiO_2$  мають твердість в 40-60 разів нижчу твердості неокисленого твердого сплаву.

4. Дифузійне зношування. Різке зростання абсолютного та відносно-го зношування при температурі  $800^{\circ}-850^{\circ}\text{C}$  дозволило Т.Н.Лоладзе [1] дійти висновку про дифузійне зношування. За цією гіпотезою знос інструменту при  $T^{\circ}\text{C}$   $800-850^{\circ}\text{C}$  має місце в результаті дифузійного розчинення інструментального матеріалу в оброблюваному.

Найбільш активно дифундує вуглець, менш швидко - вольфрам, кобальт, титан.

В результаті неоднакової швидкості розчинення між інструментом, стружкою і поверхнею різання утворюється три дифузійних шари. Найбільш віддалений від контактної поверхні - збагачений вуглецем, потім шар білого кольору - твердий розчин вуглецю і вольфраму, або вуглецю, вольфраму та титату в  $\gamma$ -залізі. Третій - інтерметаліди залізо-вольфрамого або більш складного карбіду. Інструментальний матеріал втратив карбіди вольфраму, титану і кобальту, а одержав від заготовки залізо, бо дифузія - двобічна, зустрічна.

Зношування двокарбідних твердих сплавів проходить менш швидко, ніж однокарбідних, тому що вольфрам дифундує більш активно, а титан не так швидко. З цієї причини сплави групи ТК більш стійкі, ніж групи ВК.

Вище ознайомилися з видами зносу, причинами його виникнення, але не менш важливо визначитися, коли припинити процес зношування /процес різання/ і віддати різець в переточку? Це можна визначити з допомогою критеріїв зносу.

#### Критерії зносу

Під критерієм зносу розуміють суму ознак /або одну вирішальну ознаку/, при якій експлуатація інструменту повинна бути припинена.

Взагалі картина зношування поверхонь деталей /і зокрема інструментів/ в часі може бути показана за допомогою графіка /рис.

4. 37/. Графік може бути розділений на 3 періоди:

I - припрацювання, II - період нормального зносу, III- період ката-

строфічного зносу.

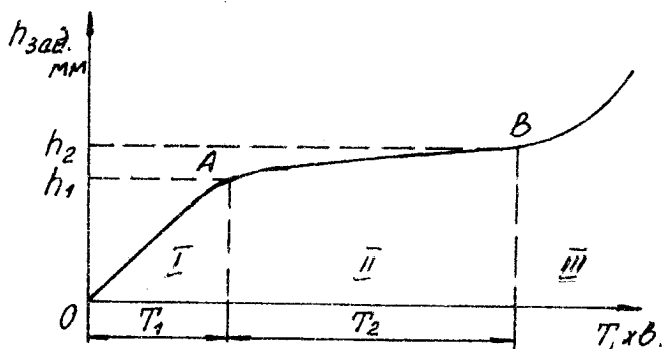


Рис.4.37

Перший період характеризується значним  $h_1$  зносом за короткий час  $T_1$ . В цьому разі проходить інтенсивне зношення виступаючих гребінців мікронерівностей.

Другий період - нормального зносу характеризується невеликим зносом  $h_2$  за довгий час  $T_2$ .

Третій період - катастрофічний, швидкий знос за короткий проміжок часу. Якщо не зупинити роботу на кордоні II і III періодів, то знос задньої поверхні може досягти таких розмірів, що відновити інструмент переточкою може бути неможливим, або, принаймні, різко скоротиться кількість можливих переточок. Тому раціональна робота виключає можливість експлуатації інструменту в III періоді.

Така характерна крива/рис.4.37/притаманна випадку, коли інструмент одночасно зношується і по передній і по задній поверхнях /II вид зносу/ [I].

Якщо знос має місце переважно на задній поверхні і незначний - на передній, то крива зносу має дещо інший вигляд /рис.4.38/. Тобто, відсутній I період [I]. Якщо інструмент зношується тільки по задній поверхні, то крива зносу має вигляд, який наведений на рис.4.39.

В цьому випадку II період - нормального зносу може продовжуватись значний час і роботу треба припинити, не чекаючи катастрофічного

зносу.

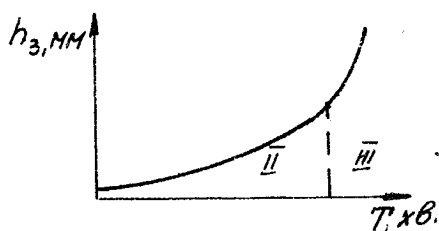


Рис.4.38

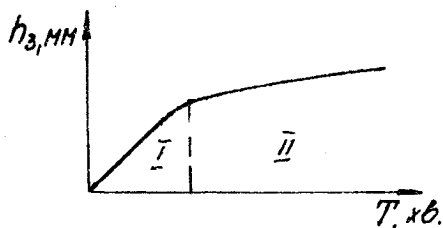


Рис.4.39

Ми вже розібралися з видами зносу, з причинами, які його викликають, і настав час визначитися, коли припинити експлуатацію інструменту та віддати його в переточку, тобто визначитися з критеріями зносу.

Під критерієм зносу інструменту розуміють критичну величину зносу контактних площин інструменту, при котрих забезпечуються або максимальний термін служіння до повної відмови /див. далі критерій "оптимального зносу", або величина зносу, яка забезпечує задані технологічні параметри: шорсткість обробленої поверхні, допуск на розмір та точність геометричної форми /див. "технологічний критерій"/.

В деяких джерелах / [4] , [8] / згадуються критерій блискучої стрічечки і силовий критерій. Перший полягає в тому, що при досягненні значного зносу при точінні сталі на поверхні різання з'являється блискуча стрічечка, а при обробці чавуну - стрі-

чекка жовтого кольору. Це свідчить про те, що знос має таку величину, що ріжуча кромка починає руйнуватися на невеличких ділянках і в цьому місці процес різання підміняється ковзанням. Суть другого полягає в тому, що в міру зростання зносу різко зростають складові сил різання, особливо радіальна складова  $P_y$ . Цей критерій можна використовувати при лабораторних дослідженнях, тому що в цехових умовах майже неможливо обладнати всі верстати динамометричною апаратурою. Значною вадою цих обох критеріїв є те, що знос інструменту в цих випадках досягає значної величини, що відповідає періоду катастрофічного зносу. З причини зазначених вад ці критерії практичного значення не мають і тому в переважній більшості сучасних джерел про них не згадується. В наш час найбільш сприятливими є критерії, які детальніше описуються нижче.

#### I. Критерій оптимального зносу

Якщо до виконуваної операції не ставляться вимоги високої точності і якості обробленої поверхні, доцільно доводити інструмент до такого рівня зносу, при якому загальний строк його служіння найдовший. Такий критерій застосовується при чорновій обробці.

Під критерієм оптимального зносу розуміють такий, при якому підсумковий період стійкості інструменту досягає максимуму:

$\Sigma T = \max$ , а  $\Sigma T = kT$ , де  $k$  - кількість можливих переточок інструменту за весь строк його експлуатації,

$T$  - період стійкості - час різання інструментом між двома переточками.

Пластинка твердого сплаву, згідно з своїми розмірами і розмірами зношень між переточками, може витримати кілька переточок. Якщо доводити різець до катастрофічного зношення, то період стійкості буде відносно великий, але при переточках потрібно знімати значну кількість інструментального матеріалу, а загальна кількість пере-

точок буде невелика. Якщо доводить інструмент до малого зносу, будемо мати відносно велику кількість переточок, але період стійкості буде невеликий. Оця комбінація - допустимої кількості переточок і періоду стійкості - дає можливість знайти оптимальний варіант. Для цього потрібно для різних умов різання провести дослід і знайти найбільш оптимальний варіант. Для прикладу приведемо таблицю 4.1. і графік /рис.4.40/

Табл. 4.1

$h_3$ /мм/	$T_{max}$ , хв	$K$	$\Sigma T$
0,2	10	20	200
0,4	20	15	300
0,6	30	12	360
0,8	40	10	400
1,0	50	7	350
1,2	60	5	300

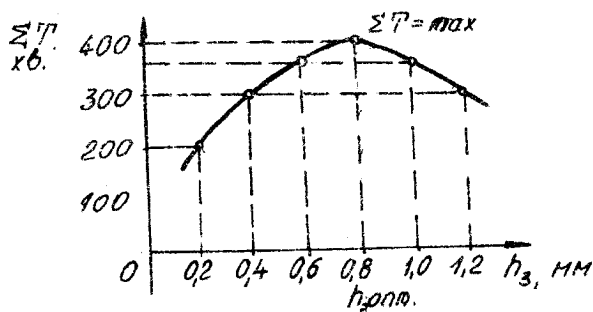


Рис.4.40

Вже відзначалося, що цей критерій застосовують при чорновій обробці і характерною рисою його є доведення інструменту до значного зносу

на межі між періодами нормального і катастрофічного зносу /точка В., рис.4.37/. В цьому випадку маємо значний лінійний знос інструменту.

Так [1] даються рекомендації: при обробці сталі  $h_z = 0,8 - 1,0$  мм; при обробці чавуну з подачею  $S \leq 0,3$  мм/об  $h_z = 1,4 - 1,7$  мм, з подачею  $S > 0,3$  мм/об  $h_z = 0,8 - 1,0$  мм.

## 2. Критерій технологічного зносу

Якщо головною метою є одержання точності і якості обробленої поверхні, то недопустимо доводити до значного зношування, бо в цьому випадку нерівномірність зносу повздовж ріжучої кромки і відсутність заднього кута на площині зносу  $h_z$ , призведе до підвищення шорсткості обробленої поверхні, а лінійний знос зменшить довжину різця/рис.4.41/, що призведе до подвійного  $2h_p$  зростання неточності обробленої поверхні. Тому цей критерій умовно можна поділити на два підкритерії:

а. за максимально-допустимою шорсткістю:

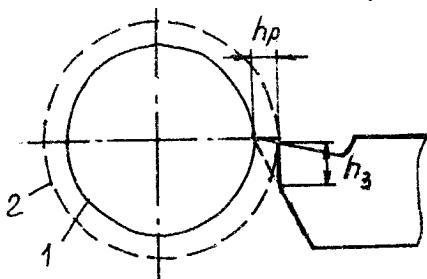


Рис.4.41

В цьому випадку різець треба віддавати в переточку тоді, коли шорсткість обробленої поверхні наближається до межі допустимої -  $Rz$  допустиме/рис.4.42/, не зважаючи на те, що інструмент за іншими критеріями ще зовсім здатний працювати. Доцільно ввести поняття



технологічної стійкості на шорсткість. Отже, технологічна стійкість  $T_{техн}$  - це час роботи інструменту, протягом якого забезпечується задана шорсткість поверхні.

б. за точністю обробленої поверхні - розмірний знос.

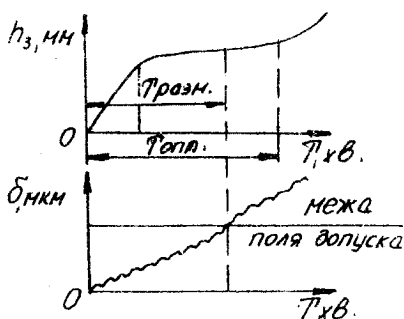
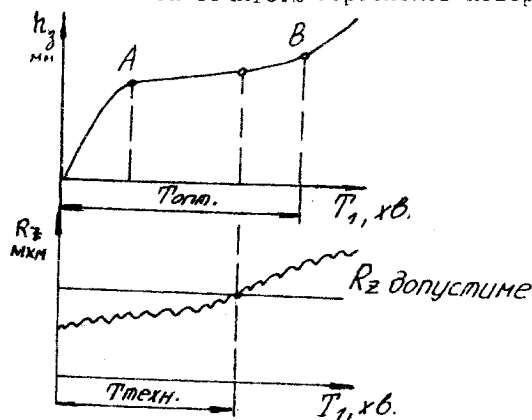


рис. 4.42

рис. 4.43

Гострий різець формує поверхню 1. В міру зносу він скорочується на величину  $h_p$  і формує поверхню 2 більшого діаметра, ніж передбачений. Доти, доки ця різниця розташована в межах поля допуску, з цим зносом можна миритися, але коли поверхня 2 вийде на межу поля допуску, різець треба віддати в переточку. Тобто лінійний знос не повинен перевищувати половини допуску. Зв'язок  $h_p$  з зносом задньої поверхні  $h_z$  можна визначити за формулою:

$$h_p = h_z \operatorname{tg} \alpha - \text{якщо } \gamma = 0$$

$$h_p = h_z \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \gamma} - \text{якщо } \gamma \neq 0$$

$K_p$  терій технологічного зносу застосовують при чистовій обробці і він має особливе значення при роботі на верстатах-автоматах і автоматичних лініях.

В цьому випадку вводиться поняття розмірної стійкості:

розмірний знос - гранична величина зносу різця в радіальному напрямку  $h_p$ , при якій забезпечується допуск на розмір деталі, а час,

за який забезпечується розмір деталі, називається розмірною стійкістю.

#### 4.10. Теплові явища при різанні металів

При обробці металів різанням виникають джерела тепла як результат перетворення механічної енергії в теплову. Відомо, що при різанні металів мають місце такі фізичні явища, як деформація і тертя, і механічна робота різання /про що раніше вже йшла мова/

$A = A_{\text{дер}} + A_{\text{т.п.}} + A_{\text{т.з}}$  складається з роботи, яка витрачається на деформування і тертя по передній і задній поверхнях. Тобто це і є джерелами виникнення тепла. Розповсюдження теплоти цих джерел в оброблюваній деталі, інструменті, стружці і оточуваному середовищі являє собою дуже складний фізичний процес з своєрідними закономірностями, відшукування яких важливо як для теорії, так і практики металообробки.

Найбільший інтерес являють:

а/ закони розповсюдження і інтенсивності теплових потоків в зоні різання; б/ закони розповсюдження температур на контактних поверхнях інструменту з стружкою і деталлю; в/ температурні поля в деталі, інструменті і стружці.

Досліди показують, що між температурою контактних поверхонь інструменту і їх зносом є зв'язок. Отже, визначення законів розповсюдження температури на контактних поверхнях ріжучого інструменту може зробити свій внесок в загальну теорію зносу і руйнування ріжучих поверхонь, в відшукування законів стійкості інструментів і умов економічного різання.

Відшукування зв'язків між умовами різання і температурою контактних поверхонь інструменту дозволяє формувати вимоги до матеріалів ріжучих інструментів в відношенні їх твердості в нагрітому стані і інертності до взаємного дифузійного розчинення з оброблюваним матеріалом.

Складні фізичні явища в процесі різання тісно пов'язані між собою. Виникнувши як результат деформації і тертя, теплота і температура різання, в свою чергу, чинять вплив на хід процесу деформації оброблюваного матеріалу і тертя на контактних площинах інструменту. Отже, температура різання займає важливе місце серед інших факторів, які визначають умови виникнення і зникнення наросту, якіс обробленої поверхні, залишкових напружень в поверхневих шарах деталі. Вивчення законів розповсюдження тепла в зоні різання дає можливість відшукувати засоби найбільш ефективного охолодження інструменту, використовуючи для цього тепловідвід від контактних поверхонь по всіх можливих напрямках - в деталь, в тіло інструменту, в стружку, в оточуюче середовище.

Отже джерела виникнення тепла можна визначити за такою формулою:  $Q = Q_{деф} + Q_{тл} + Q_{тз}$ , а розповсюджується тепло, яке виникло, в тих напрямках, які тільки що перераховувались. Тобто, баланс тепла при різанні металів можна визначити таким чином /рис.4.44/:

$$Q_{деф} + Q_{тл} + Q_{тз} = Q_{стр} + Q_{дет} + Q_i + Q_{о.с.},$$

де  $Q_{деф}$  - теплота від деформації;  
 $Q_{тл}$  і  $Q_{тз}$  - теплота від тертя на передній і задній поверхнях;  
 $Q_{стр}$  - теплота, яка прямує зі стружкою;  
 $Q_{дет}$  - теплота, яка прямує в деталь;  
 $Q_i$  - теплота, яка прямує в інструмент;  
 $Q_{о.с.}$  - теплота, яка прямує в охолоджуюче середовище.

В зоні деформації /умовна площина зсуву АВ/ виникає теплота деформації  $Q_{деф}$ . На контактних площинах задньої і передньої поверхонь виникає тепло від тертя на цих поверхнях. Утворене тепло розповсюджується від місць виникнення до місць менше нагрітих, тобто, в деталь  $Q_{дет}$ , в інструмент  $Q_i'$ ,  $Q_i''$ ,  $Q_i'''$ , в

стружку  $Q_{стр}$  і від цих об'єктів - в оточуюче середовище.

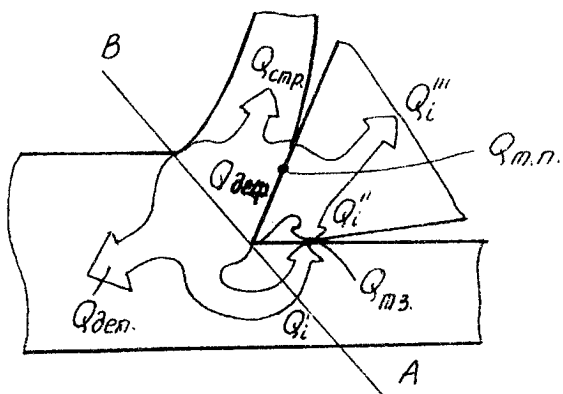


Рис.4.44

Співвідношення всіх потоків залежить від умов різання і, володіючи певним рівнем знань фізики цього явища, можна перерозподіляти потоки тепла в тому чи іншому напрямку з ціллю зменшення температури інструменту. Приведемо один з прикладів [9] зменшення температури різання шляхом перерозподілу потоків тепла.

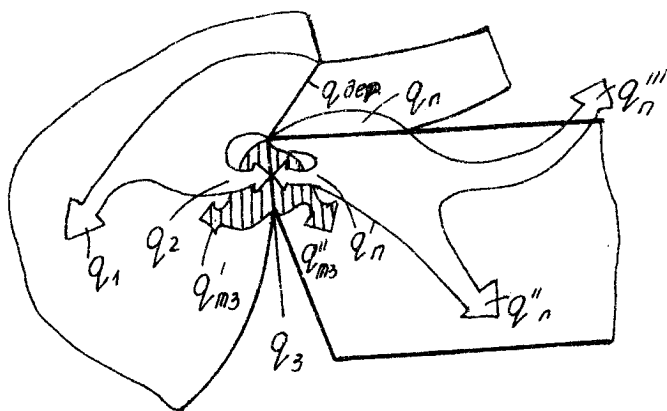


Рис.4.45

При роботі гострим інструментом /рис.4.45/ з боку передньої поверхні тепло іде в різець /  $q_n > 0$  /. Інтенсивність потоку

$q_n$  тим більша, чим вища швидкість різання і чим більш теплопровідний інструментальний матеріал в порівнянні з теплопровідністю оброблюваного матеріалу. Тепловий потік на площі контакту задньої поверхні різця з заготовкою може бути направлений як в бік

деталі, так і різця. Через площадку контакту "різець-деталь" ідуть назустріч один одному кілька теплових потоків. Теплота деформації, яка утворюється на поверхні зсуву в вигляді потоку  $q_{деф}$ , в вигляді потоку  $q_1$ , передається в деталь, а в вигляді потоку  $q_2$  - в різець. Теплота тертя  $q_{тз}$  в вигляді потоку  $q'_{тз}$  переходить в деталь, а в вигляді потоку  $q''_{тз}$  - в різець.

Назустріч потокам  $q''_{тз}$  і  $q_2$  рухається потужний потік інтенсивністю  $q'_n$ , який являє собою частину загальної теплової віддачі  $q_n$  з боку стружки в різець /в свою чергу  $q_n$  складається з частини тепла від загальної кількості  $q_{деф}$  плюс теплота тертя стружки по передній поверхні/. Інші частини потоку  $q_n$  утворюють тепловий потік в стержень інструменту  $q''_n$  і тепловий потік через корпус інструменту в охолоджуюче середовище  $q'''_n$ . Підсумковий тепловий потік через площу контакту між поверхнею різання і інструментом можна записати в вигляді алгебраїчної суми

$$q_3 = q''_{тз} + q_2 - q'_n$$

Якщо створити такі умови, щоб  $q'_n > q''_{тз} + q_2$ , то підсумковий потік  $q_3 < 0$ , тобто тепло переходить від різця в деталь. З зростанням швидкості різання все менша кількість тепла деформації встигає перейти в деталь, а отже потік  $q_2$  все менший. Навпаки, з зростанням швидкості різання все більше тепла утворюється на передній поверхні різця і, як підсумок, все більше потік  $q'_n$ . Більше тепла утворюється і на задній поверхні. Але розрахунки показують, що з зростанням швидкості різання доля тепла тертя  $q_{тз}$ , яке переходить в різець, знижується, отже ін-

тенсивність потоку  $q''_{mz}$  зростає не так швидко, як інтенсивність потоку  $q_{mz}$ . Ці обставини і приводять до того, що в міру зростання швидкості різання тепловідвід із інструменту в деталь безперервно зростає. Таким чином деталь править за охолоджувач інструменту, відтягуючи в свою масу частину тепла, яке дісталось різцю з боку стружки. Цим ефектом доцільно користуватися в ряді випадків для зниження температури інструменту і підвищення його стійкості. Збільшуючи тепловіддачу від інструменту в деталь не можна нанести більш-менш великої шкоди останній, якщо її розміри не дуже малі, але можна покращити температурний режим в ріжучій частині різця.

На практиці ці теоретичні міркування можна здійснити за допомогою /крім уже описаного підвищення в межах допустимого швидкості різання/ утворення на різці малонавантажених тепловідвідних кромки розміром 0,02 - 0,05 мм з заднім кутом  $\alpha = 0$ . Такі кромки незначно збільшують теплоутворення і, разом з цим, стикаючись з деталлю, сприяють активному тепловідводу в її бік.

За даними А.Н.Резнікова, утворення фасок /рис.4.46/ на допоміжних ріжучих кромках відрізного твердосплавного різця дозволяє підвищити стійкість його в 2-3 рази. Потрібно висловити застереження: надмірне зростання розмірів фасок призведе до зворотного результату - теплоутворення під впливом зростання площі тертя перевершить підвищення тепловідводу.

На інтенсивність теплових потоків  $q_p$  і  $q_z$  може суттєво впливати використання змащувально-охолоджуючої рідини. Але спосіб її підводу і місце, в яке вона подається, стоїть далеко не на останньому місці. Так, найчастіше ЗОР подають поливом зверху і тим самим охолоджують стружку в надії, що в цьому випадку досягають зниження температури контактних поверхонь інструменту. Розрахунки показують, що такий засіб охолодження дає успіх тільки при тон-

кому точінні. При роботі з нормальними перерізами зрізу краще подавати ЗОР з боку задньої поверхні на контактну площину "інструмент-деталь", що підвищує інтенсивність переходу тепла  $q_n$  в бік деталі. Особливо в випадку подачі ЗОР під тиском в вигляді "туману".

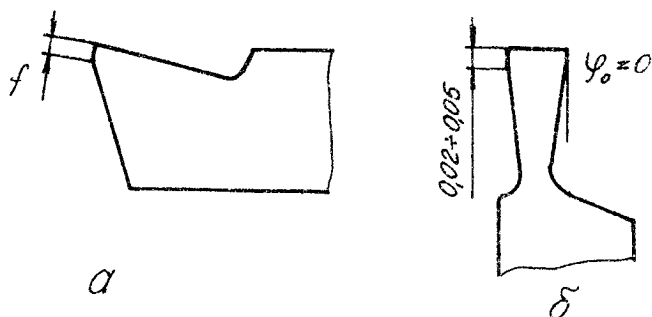


Рис.4.46

Фактори, які впливають на температуру різання.

На температуру різання найбільш чітко впливають такі фактори:

1. Фізико-механічні, та теплофізичні властивості оброблюваного матеріалу.
2. Елементи режиму різання
3. Геометричні параметри інструменту /перш за все передній кут  $\delta$  і головний кут у плані  $\varphi$  /
4. Засоби охолодження.

Вплив більшості факторів на температуру різання слід розглядати тільки в такій послідовності:

1. Як досліджуваний фактор впливає:
  - а/ не деформацію при різанні
  - б/ на тертя на контактних поверхнях

На основі цих досліджень робимо висновок впливу фактора на

на силу різання, отже, на механічну роботу.

2. Теплоутворення. В залежності від механічної роботи, затраченої на різання, зростає або зменшиться кількість утвореного тепла.

3. Тепловідвід. В залежності від підсумку дії двох конкуруючих процесів: теплоутворення – тепловідвід, зваживши на те, який із них перевищує, роблять висновок про температуру різання.

Якщо не притримуватися такої послідовності, то є ризик зробити помилковий висновок що до температури різання.

Розберемо вплив вищенаведених факторів на температуру різання.

### І. Фізико-механічні властивості обробленого матеріалу.

З підвищенням міцності і твердості оброблюваного матеріалу зростають сили різання, а отже і робота різання  $A = P_z V$ , що призводить до підвищення теплоутворення. Але підсумковий результат – температура різання – залежить також від такої фізичної властивості матеріалу, як теплопровідність. Чим вища теплопровідність оброблюваного матеріалу, тим більша частина утвореного тепла буде відведена від ріжучої частини інструменту в масу деталі, нижча буде і температура різання. На температуру, при інших рівних умовах різання, впливає також структура оброблюваного матеріалу. Так, при точінні сталі з структурою зернистого перліту сила і температура різання значно вищі, ніж при обробці сталі з структурою пластинчатого перліту. Це пояснюється тим, що зернистий перліт більш пластичний, ніж пластинчатий.

Жаротривкі та нержавіючі сталі, які відрізняються високим вмістом легуючих елементів  $Cr$ ,  $Ni$ ,  $W$ ,  $Mo$ ,  $Ti$  та інш., мають низьку теплопровідність при високій міцності та в'язкості. При обробці таких сталей температура різання значно вища, ніж при обробці конструкційних малолегованих сталей. Ще меншою теплопровідністю відзначаються титанові сплави, отже має місце при обробці



надто висока температура.

2. Елементи режиму різання:

а/ глибина різання  $t$ /ширина зрізуваного шару,  $b$  /,  
подача  $s$ /товщина зрізуваного шару  $a$  /

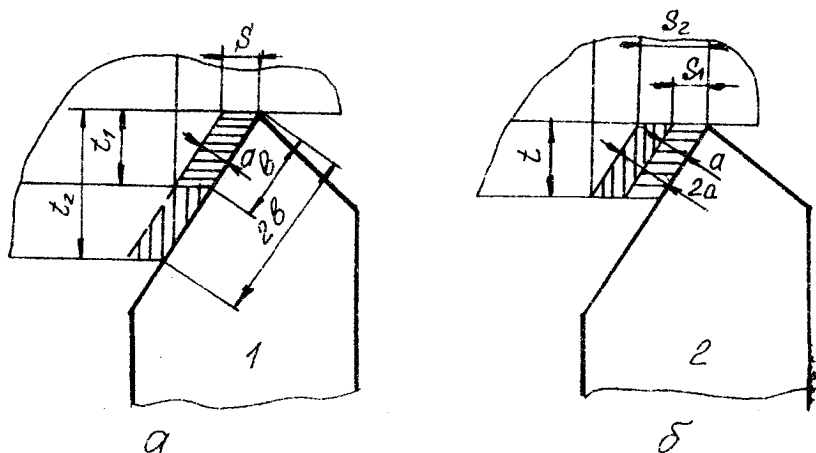


Рис.4.47

Глибина і подача /ширина і товщина/ неоднаково впливають на температуру різання. На рис.4.47а і б показано, як різець знімає дві однакових площі зрізу:  $f = a \cdot 2b$  ;  $f = 2a \cdot b$  . Тобто різець 1 зрізає шар шириною  $2b$  і товщиною  $a$  , різець 2 зрізає шар шириною  $b$  і товщиною  $2a$  . Таким чином, на передній поверхні обох різців на площі контакту діють теплові джерела приблизно однакової потужності [1] . Але з зростанням глибини різання в стільки ж разів зростає сила і робота різання. З зростанням подачі сила зростає в степені 0,75, відстає зростання і роботи різання. Отже, при зростанні глибини зростання теплоутворення очікується більш інтенсивне, ніж при зростанні подачі. Але зростання контакту різця ( $2b$ ) з зростанням глибини різання полегшує відвід тепла від ріжучої частини як в корпус різця, так і в бік деталі. При зростанні по-

дачі /2а/ дещо покращується тепловідвід в корпус різця, бо збільшилась площа контакту між стружкою і різцем. Отже, ця різниця інтенсивності тепловідводу є визначною в даному випадку. При зростанні глибини різання, не зважаючи на більше теплоутворення, тепловідвід настільки зростає, що температура збільшується всього в степені

0,1, тобто  $T^{\circ C} = C r t^{0,1}$ , а при зростанні подачі степенів впливу -  $\approx 0,13-0,45$ ;  $T^{\circ C} = C r t^{0,1} S^{0,13-0,45}$

Можна зробити важливий висновок: для зменшення температури різання при заданій площі перерізу зрізуваного шару необхідно працювати з більшим співвідношенням  $\frac{b}{a}$ , тобто з більшою глибиною різання.

б/ Швидкість різання. З зростанням швидкості різання зростає робота різання  $A = P_z \cdot V$ , а отже і кількість утвореного тепла. Але розподіл тепла між стружкою, деталлю і інструментом різко змінюється при зростанні швидкості [1]: кількість тепла в процентному відношенні в стружці зростає, а в деталі і інструменті - зменшується /рис.4.48/

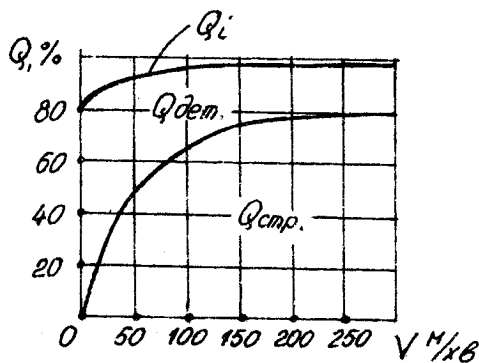


Рис.4.48

Наприклад, при точінні сталі 40X з швидкістю різання до 50м/хв в стружку іде до 45% тепла, в деталь - 47%, а в інструмент-4,5%;

при швидкості різання 100-200 м/хв в стружку - 75% в деталь - 22% і в інструмент - 1,5%. Зменшення частки тепла, яке переходить в деталь, пояснюється зміною співвідношення між швидкістю різання і швидкістю розповсюдження тепла з зони деформації. З джерела теплоутворення на умовній площі зсуву в деталь /рис.4.44 / тече потік  $Q_2$ . Швидкість розповсюдження тепла залежить від градієнта температур на умовній площі зсуву і теплопровідності оброблюваного матеріалу. Якщо швидкість різання, тобто швидкість, з якою ріжучий клин інструменту перерізає тепловий потік *Одеф*, мала, то тепло від умовної площі зсуву без перешкод перейде в деталь. Зі зростанням швидкості різання ріжучий клин все швидше перерізає тепловий потік і в деталь встигає перейти все менша кількість тепла, навпаки - все більша частина його лишається в стружці. Зменшення частки тепла, яке іде в інструмент зі зростанням швидкості, пов'язано зі зменшенням площі контакту на передній поверхні, через яку тепло із стружки переходить в інструмент.

### 3. Геометричні параметри

а/ передній кут різця  $\gamma$  /кут різання  $\delta$  /.

Зростання кута  $\gamma$  /зменшення кута  $\delta$  / призводить до зростання кута зсуву  $\beta_1$ , а останній зменшує ступінь деформації. Зі зростанням переднього кута /зменшенням кута різання  $\delta$  / зменшується нормальний тиск зрізуваного шару /стружки/ на передню поверхню різця, що знижує тертя  $F_n = P_n \mu_n$ . Отже, знижується сила і робота, і, як наслідок, кількість утвореного тепла, але зменшується кут загострення, тобто металоземкість ріжучої частини, що затруднює відвід тепла в тіло різця. Навпаки, зі зменшенням  $\gamma$  зростає

сила, робота, теплоутворення, але зростання масивності ріжучої частини полегшує тепловідвід. Температура різання залежить від співвідношення теплоутворення і тепловідводу. Якщо тепловідвід перевершує теплоутворення, температура знижується і навпаки. Висновок такий: для різних умов різання є своє оптимальне значення кута  $\delta$ , коли температура буде найнижча /рис.4.49/.

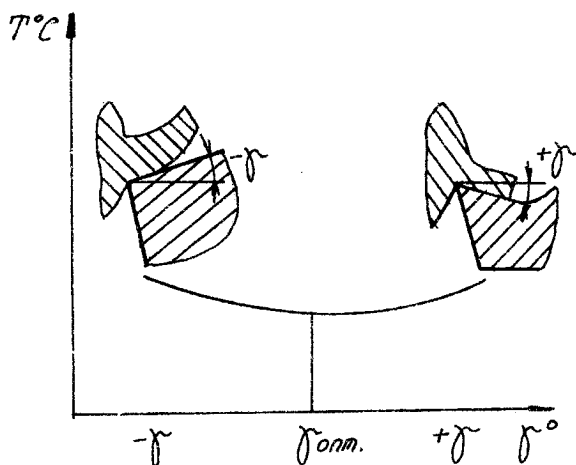


Рис.4.49

б/ головний кут у плані  $\psi$ . /рис.4.50/

З зростанням кута  $\psi$  зростає товщина різку  $a$ , отже зменшується степінь деформації, зменшується ширина  $b$ , зменшується площа тертя, зменшується сила, робота і кількість утвореного тепла, але зменшується кут при вершині у плані  $\epsilon$ , що зменшує тепловідвід в тіло різця, зменшується ширина  $b$ , отже зменшується тепловідвід в напрямок деталі. Все це грає вирішальну роль і з зростанням  $\psi$  температура зростає і навпаки.

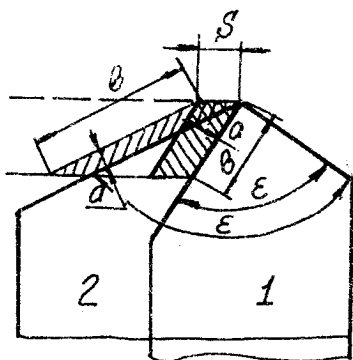


Рис.4.50

#### 4. Змащувально-охолоджуюча рідина /ЗОР/

Про вплив ЗОР на перерозподіл теплових потоків йшлося раніше. Дійсно, швидкість руху стружки перевищує швидкість розповсюдження тепла в матеріалі оброблюваної деталі, внаслідок цього струмінь ЗОР охолоджує тільки вільну поверхню стружки і майже не досягає її контактної поверхні. Ефект такого охолодження незначний. Більш ефективним буде охолодження з боку задньої поверхні різця. В цьому разі ЗОР досягає зони різання. Особливо продуктивним є метод охолодження "туманом". За даними [3] застосування такого методу охолодження збільшує стійкість швидкоріжучого і твердосплавного інструменту в 1,5 - 3 рази в порівнянні зі звичайним охолодженням.

Отже, температуру різання можна визначити за формулою:

$$T^{\circ}C = C_T t^x S^y V^n K_T$$

де  $C_T$  - постійний коефіцієнт, який враховує умови різання;

$x = 0,1$ ,  $y = 0,13 - 0,45$   $n = 0,25 - 0,5$  - показники степеня;

$K_T$  - коефіцієнт, який враховує умови, не співпадаючі з врахованими коефіцієнтом  $C_T$ .

При точінні сталі різцем із швидкоріжучої сталі / за даними/

$$T^{\circ C} = \frac{C_T V^{0,4} S^{0,26} t^{0,1} (\sin \varphi)^{0,26}}{z^{0,4} (B \cdot H)^{0,08}}$$

#### 4. II. Швидкість різання

Швидкість різання є одним з основних параметрів, що визначають продуктивність обробки. З зростанням швидкості різання зростає продуктивність різання, але інтенсивніше зношується інструмент. Втрати часу на часті переточки різця і зв'язані з цим витрати зводять нанівець переваги необгрунтованого підвищення швидкості. Отже, для кожного конкретного випадку потрібно обрати оптимальну швидкість різання, при якій буде забезпечена найбільша продуктивність і найменша собівартість.

Швидкість різання залежить від цілого ряду факторів. Найбільш впливові з них це:

1. Стійкість різця.
2. Фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу.
3. Елементи режиму різання /глибина різання, подача/.
4. Геометричні параметри різця /  $\gamma$ - $\delta$  ,  $\varphi$  /.
5. ЗОР.
6. Властивості інструментального матеріалу.

Розглянемо детальніше вплив названих факторів на вибір швидкості різання.

1. Відомо, що залежність "Стійкість-швидкість" може бути показана графіком/рис.4.51а/при роботі різцем з інструментальної сталі і графіком/рис.4.51б/при застосуванні твердосплавного різця.

Між швидкістю різання і стійкістю ріжучого інструменту з інструментальної сталі є досить проста залежність: чим вища швид-

кість різання, чим менша стійкість різця. Це пов'язано з впливом швидкості різання на теплоутворення і знос. Математично цю залежність можна подати як  $V = \frac{C}{T^m}$ , або  $VT^m = const$ ,

де  $C$  - постійна величина, яка залежить від умов обробки;

$m$  - показник відносної стійкості;

$T$  - стійкість в хв.

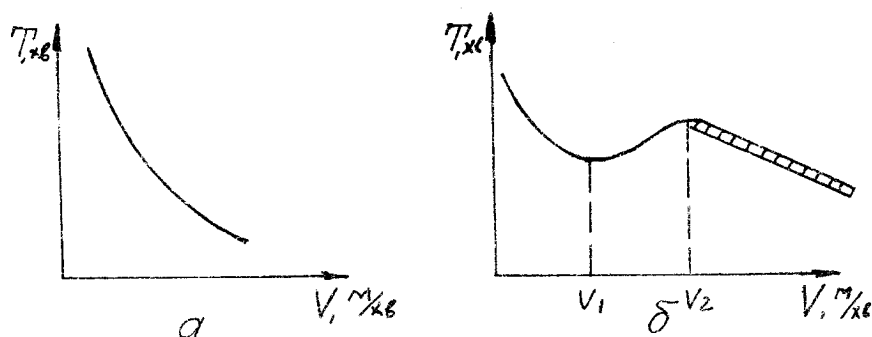


Рис.4.5І

Стійкість - це машинний час роботи інструменту від переточки до переточки.

При роботі твердосплавним інструментом залежність "швидкість-стійкість" більш складна. При підвищенні швидкості різання стійкість такого різця спочатку зменшується, потім зростає і нарешті знов зменшується. Треба підкреслити, що в літературних джерелах не зустрічається більш-менш чіткого роз'яснення, чому ця закономірність не-монотонна. Особливо це стосується тієї частини графіка /рис.4.5Іб/, яка відповідає швидкості різання, що більша  $V_2$ . Ризикнемо висловити гіпотезу щодо останнього, пов'язавши це з причинами зношування. При роботі з малою швидкістю, в зв'язку з низькою температурою різання, знос проходить повільно і стійкість різця відносно велика. З зростанням швидкості до  $V_1$ , коли температура досягає  $\approx 500^\circ\text{C}$

600°C до абразивного зносу додається адгезійний і стійкість падає. При роботі з швидкістю  $> V_1$  до  $V_2$  температура сягає 600-700°C. При такій температурі знижується крихкість і підвищується механічна міцність твердого сплаву. З цієї причини зростає стійкість. При застосуванні швидкостей різання, що вищі  $V_2$ , до абразивного зношування додається хімічний знос /T°C = 700-800°/ і дифузійний /T°C = 800 - 850°. Крім того, твердий сплав має тепло-стійкість 850-1000°C, що дає можливість пояснити зниження стійкості в кінці заштрихованої частини графіку тим, що під впливом високої температури  $\approx 900^\circ\text{C}$  твердий сплав оплавлюється і знос зростає. Якщо прийняти до уваги, що твердий сплав працює якраз в зоні швидкостей різання  $> V_2$ , то можна не звертати особливої уваги на частину графіка/рис.4.50б/до швидкості  $V_2$  і прийняти ту частину, яка відповідає швидкості різання  $> V_2$ . Ця частина графіка схожа з графіком для різця з інструментальної сталі. Тому тут діє та сама математична залежність що і для різця з інструментальної сталі, тобто

$$V = \frac{C}{T^m}$$

Якщо цю частину графіка побудувати в подвійній логарифмічній системі, то можна визначити показник відносної стійкості, який визначає ступінь зміни швидкості різання, якщо змінити стійкість. Для різців із інструментальної сталі при обробці з застосуванням ЗОР сталевих та чавунних заготовок  $m = 0,125$ ; при роботі різцями з твердого сплаву  $m = 0,125 - 0,3$ , тобто в середньому  $m = 0,2$ . На виробництві і в лабораторії інколи є потреба визначити швидкість різання  $V_2$ , коли відомими є стійкість  $T_1$  при швидкості різання  $V_1$  і стійкість  $T_2$ . Цю задачу можна розв'язати, застосувавши рівняння:  $VT^m = C = \text{const}$ , тобто

$$V_1 T_1^m = V_2 T_2^m \quad \text{або} \quad V_2 = V_1 \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^m$$

і зворотна задача:

$$T_2 = T_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\frac{1}{m}}$$



Подальший розгляд впливу решти факторів на швидкість різання слід розглядати через температуру різання: якщо зміна фактора збільшує температуру, швидкість різання треба зменшувати і навпаки.

2. Фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу впливають на вибір швидкості різання таким чином, що чим вище міцність, твердість матеріалу тим вища температура різання і швидкість різання треба знижувати. Але наскільки знижувати? Якщо за взірець оброблюваного матеріалу взяти для сталі - сталь з межею міцності  $\sigma_B = 750 \text{ МПа}$  для сірого чавуну з твердістю  $HB = 190$ , то для сталей з  $\sigma_B \neq 750 \text{ МПа}$  можна [10] визначити коректувальний коефіцієнт на реальний матеріал

$$K_{mv} = K_r \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v}$$

де  $K_r$  - коефіцієнт, який характеризує оброблюваність матеріалу;  $\sigma_B$  - межа міцності реального матеріалу.

При обробці сірого чавуну такий коефіцієнт визначають за формулою:

$$K_{mv} = \left( \frac{190}{HB} \right)^{n_v}$$

де  $HB$  - твердість чавуну, яка не співпадає з  $HB = 190$

$n_v$  - показник степеня.

Вище був застосований термін "оброблюваність", що він означає?

Однією з характеристик оброблюваності є допустима швидкість різання. Чим вища допустима швидкість різання для будь-якого оброблюваного матеріалу, тим вища його оброблюваність. Вона залежить від вмісту вуглецю в сталі, а також легуючих елементів. Значний вплив на оброблюваність сталі чинить структура: найвищою оброблюваністю характеризується ферит, потім, в порядку зниження оброблюваності, зернистий перліт, пластинчастий перліт, сорбіт, троостіт.

Надто низькою оброблюваністю характеризуються інструментальні швидкохідні сталі, хромонікельвольфрамові, хромомарганцеві, хромокремнієві, хромокремніймарганцеві і інші леговані сталі. Ще більш низька оброблюваність нержавіючих і жаротривких сталей та титанових сплавів. Це пояснюється тим, що такі сталі мають межу міцності на

зсув в 2-3 рази вищу, ніж конструкційні сталі, що викликає значне теплоутворення, а теплопровідність цих матеріалів низька, отже, більша частина утвореного тепла розповсюджується в більш теплопровідний інструмент. В результаті такі матеріали обробляють з швидкістю різання в 2-4 рази нижчою, ніж конструкційні сталі. При обробці сірого чавуну величина допустимої швидкості теж зменшується зі збільшенням вмісту вуглецю в вигляді цементиту  $Fe_3C$  і легуючих елементів. Цементит різко знижує оброблюваність чавуну. Найвища оброблюваність сірого чавуну забезпечується при наявності графіту в вільному вигляді і малому вмісті цементиту.

З великою швидкістю різання обробляються автоматні сталі, кольорові і легкі сплави.

Алюміній та його сплави допускають швидкість різання, яка в 5-6 разів перевищує швидкість різання конструкційної сталі з  $\sigma_B = 750 \text{ МПа}$ .

3. Глибина різання і подача. Раніше йшла мова про те, що зі зростанням  $t$  і  $S$  зростає температура різання, отже в цьому випадку швидкість різання потрібно зменшувати.

Математично залежність швидкості різання від глибини різання і подачі може бути подана у вигляді:

$$V = \frac{C_v}{L^x S^y},$$

де  $C_v$  - постійний коефіцієнт, враховуючий умови різання;  
 $x, y$  - показники степеня.

Степені впливу глибини і подачі на температуру різання не однакові -  $y > x$ . Таке співвідношення їх витримується і в формулі швидкості. Так, якщо показник степеня  $x$  при глибині різання в залежності від умов різання змінюється від 0,15 до 0,3, то показник степеня  $y$  при подачі - від 0,2 до 0,66, і зі зростанням подачі він дещо росте, так при обробці сталі, якщо  $S \leq 0,33 \text{ мм/об}$   $y = 0,26$ . При  $S > 0,7 \text{ мм/об}$   $y = 0,45$  [10, табл. 17. стор. 269]

а показник степеня при глибині різання у наведених прикладах  
 $X = 0,15$ .

З цього можна зробити висновок, що з точки зору швидкості різання вигідніше працювати з більшою глибиною різання, ніж подачею, тому що зростання глибини в меншій мірі зменшує допустиму швидкість, ніж зростання подачі.

4. Геометричні параметри. Подібно до впливу на температуру різання, де ми дійшли висновку, що для різних умов різання є своє оптимальне значення переднього кута, коли температура різання найнижча, це оптимальне значення відповідає найвищій швидкості різання. Щодо кута у плані  $\varphi$ , то тут більш прямолінійно - з зменшенням кута  $\varphi$  температура знижується, а швидкість різання може бути підвищеною. Так, якщо за одиницю прийнято швидкість різання різцем з кутом  $\varphi = 45^\circ$ , то при куті  $\varphi = 20^\circ$  швидкість може бути збільшена в 1,4 разу, а при куті  $\varphi = 90^\circ$  - зменшена в 0,7 разу [10, табл.18. стор 271 ] .

5. ЗОР. Детально вплив ЗОР на температуру різання описано раніше. Застосування ЗОР зменшує температуру, що дозволяє підвищити швидкість різання.

6. Інструментальний матеріал. Різні інструментальні матеріали мають різні теплостійкість і зносостійкість. Цими якостями і визначаються ріжучі можливості інструментальних матеріалів.

Так, якщо допустиму швидкість різання для різця із швидкоріжучої сталі прийняти за одиницю, то швидкість різання твердосплавним різцем буде в 3-6 разів вищою.

Якщо взяти швидкості різання для однокарбідного сплаву ВК6 за 1 і для двокарбідного Т15К6 за одиницю, то відповідно: при обробці чавуну ВК3-0,83; ВК4-1,1; ВК3-1,15 при обробці сталі конструкційної Т5К10-0,65; Т14К8-0,8; Т30К4-1,4.

## 5. ТЕПЛОВІ ПРОЦЕСИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЕРСТАТНИХ СИСТЕМАХ

### 5.1. Поняття про технологічну систему та підсистему.

Технологічна система /відповідно до ГОСТ 27.004-85/ - це сукупність функціонально-взаємопов'язаних засобів оснащення, предметів виробництва та виконавців, призначена для виконання в регламентованих умовах виробництва заданих технологічних процесів або операцій.

Предмет виробництва визначає вид технологічної системи. Система одного виду необхідна щоб виготовити, наприклад, комбайн і зовсім іншого виду для виготовлення, наприклад, редуктора. Але незалежно від того, що є предметом виробництва, технологічна система має загальні ознаки. Так система функціонує тільки в тому разі, коли до неї підведена енергія - це по-перше, і по-друге - технологічна система може бути поділена на підсистеми. Підсистеми можуть функціонувати паралельно або послідовно. При аналізі теплових явищ в процесі обробки доцільно поділяти на підсистеми трьох рівнів. Технологічна підсистема першого рівня ТПІ /рис.5.1./ має завдання одержати на заготовці окремих поверхонь або зміну властивостей оброблюваного матеріалу. Компоненти цієї підсистеми - оброблюваний матеріал, обладнання, інструмент, технологічне середовище, засоби контролю і керування, об'єднані робочим процесом. Наприклад, при механічній обробці ТПІ може призначатися для отримання зовнішньої або внутрішньої поверхонь напівфабриката або деталі; при термічній обробці - зміна властивостей матеріалу і підвищення твердості, поліпшення структури і т.д.

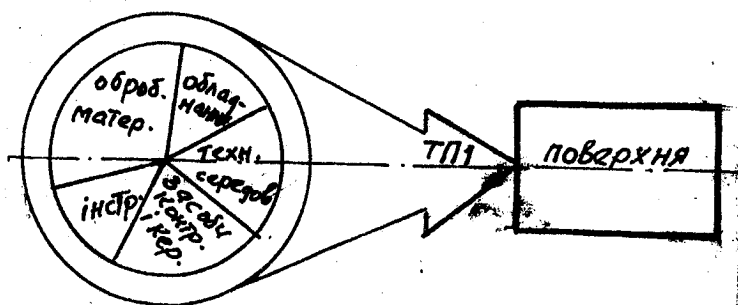


Рис.5.1.

Якщо поєднати кілька ТПІ в одну або кілька операцій, одержимо підсистему другого рівня ТП2 /рис. 5.2 / і, як результат, отримаємо деталь.

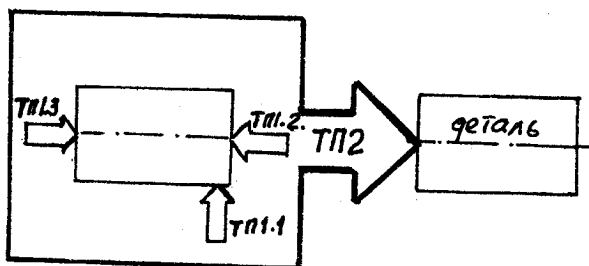


Рис. 5.2

ТП1.1 і ТП1.2 - операція I

ТП1.3 - операція 2.

Поєднання кількох підсистем другого рівня передбачає складання, зварку, пайку та інше. В цьому ми отримуємо підсистему третього рівня ТП3, тобто вузол машини.

Нарешті, поєднання кількох ТП3 дає машину.

Зростання енергоозброєності виробництва а також підвищення міцності, в'язкості оброблюваних матеріалів, режимів обробки призводить до інтенсифікації теплових процесів в технологічних системах.

Особливо ця інтенсифікація має місце на рівні ТП1 і ТП2, в яких здійснюється зміна форми і властивостей заготовки при перетворенні її в деталь /обробка тиском, різанням, зварка, термообробка/.

В підсистемах третього рівня, де готові деталі складаються в вузли з натягом, засобами зварки і пайки, теж можливе теплоутворення, але значно менше, ніж в ТП1 і ТП2. Джерела теплоутворення можуть бути внутрішніми - результат робочого процесу і виникають в самій підсистемі /деформація, тертя і т.і./; і зовнішніми - підводяться в підсистему незалежно від внутрішніх /додатковий підігрів, або охолодження матеріалу, вузлів верстата і т.і./.

## 5.2. Теплообмін в технологічних системах

Теплота, одержана від внутрішніх чи зовнішніх джерел розподіляється між всіма компонентами технологічної підсистеми. Теплообмін між компонентами може здійснюватися одним з трьох способів: теплопровідність, конвекція або теплове випромінювання.

Теплопровідність – процес передачі теплової енергії мікрочастинками речовини при безпосередньому стиканні тіл або частин тіла. Теплова енергія переноситься з місць більш нагрітих в бік менш нагрітих. При описуванні теплових явищ в технологічних системах вивчення процесу розподілу теплової енергії в твердих тілах /заготовках, інструментах, пристосуваннях, верстатах і т.і./ грає важливу роль.

Конвекція має місце в середовищі рідин та газів, де переніс теплової енергії відбувається за рахунок переміщення речовини в просторі. Конвекція завжди супроводжується теплопровідністю, тому що при русі рідини або газу має місце стикання частинок з різними температурами. Сумісний процес конвекції і теплопровідності називають конвективним теплообміном.

Теплове випромінювання – процес розповсюдження тепла електромагнітними хвилями. Має місце подвійне перетворення енергії: теплова енергія тіла, яка випромінюється, перетворюється в променеву, а потім променева енергія, яка поглинається іншим тілом, перетворюється в теплову. В технологічних підсистемах, як правило, мають місце одночасно всі три теплопередачі, але в залежності від конкретних умов один з них може грати переважачу роль. Розглянемо приклад теплообміну в зоні різання при точінні /рис. 5.3 /

Максимальна кількість тепла виникає за рахунок деформації в зоні первинної деформації /на умовній площині зсуву АВ – теплота еквівалентна роботі деформування/. Крім того, з причини тертя на передній поверхні АС і задній АД утворюється теплота, еквівалентна роботі сил тертя.

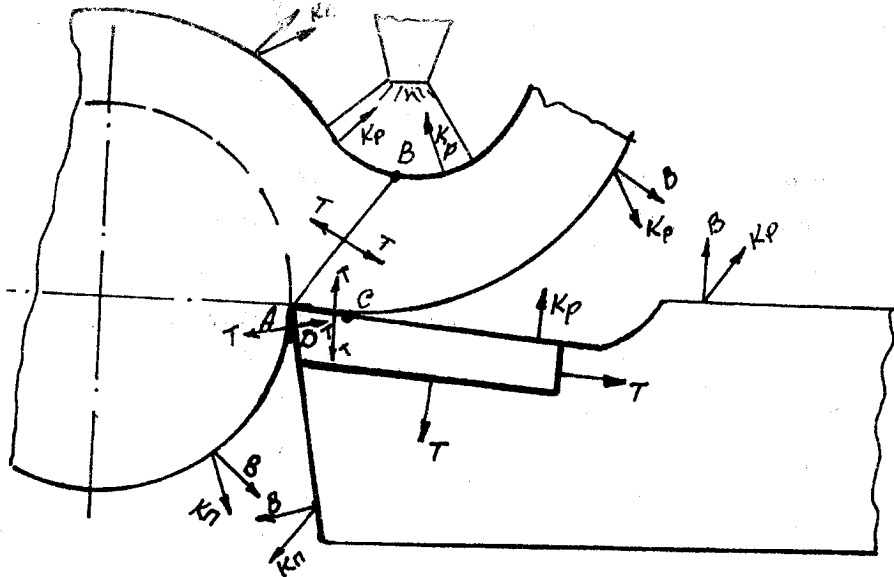


Рис.5.3

Теплова енергія цих внутрішніх джерел витрачається на нагрівання заготовки, різця, стружки, а також на теплообмін з оточуючим /повітря/ і технологічним /ЗОР/ - середовищами.

На рисунку позначено:  $K_p$  - конвекційний теплообмін з повітрям,  $K_r$  - конвекційний теплообмін з рідиною /ЗОР/,  $B$  - теплообмін випромінюванням,  $T$  - теплопровідність.

Тепло, яке виникає внаслідок різання, надходить в оброблюваний матеріал /заготовку, стружку/, частково розсіюється в ньому, частково в оточуючому середовищі, решта іде в обладнання, технологічне середовище, в засоби контролю та управління, якщо вони пов'язані з заготовкою /наприклад, при автоматичному контролі/. Тепло, яке розповсюдилось в технологічне середовище, частково розсіюється в ньому, оточуючому середовищі, а частково, в результаті конвективного теплообміну, повертається в заготовку і інструмент. Теплота робочого процесу передається інструменту, частково розсіюється в ньому, в оточуючому середовищі, а частково переходить в технологічну систему і в обладнання.

Тепло, яке виникає в обладнанні за рахунок тертя зубчастих пар,

підшипників і інших вузлів, частково розповсюджується в ньому, в оточуючому середовищі, а частково транспортується в заготовку.

### Теплообмін в твердих тілах.

Ми вже підкреслювали, що в технологічних системах можуть діяти одночасно всі три види теплообміну, але при різанні металів найбільше значення має теплопровідність. В твердих тілах енергію часток речовини характеризує температура.

В загальному випадку температура неоднакова в різних точках тіла і є функцією координат і часу, тобто:

$$\theta = f(x, y, z, \tau)$$

Сукупність температур в дану мить часу для всіх точок середовища зветься температурним полем. Якщо при цьому температура залежить від тривалості нагріву або охолодження, поленазивається несталим або нестационарним. Якщо температура постійна, поленазивається сталим або стаціонарним.

Поле може бути одно-, дво- і тримірним в залежності від кількості координат /одна, дві, три/, які впливають на температуру поля.

Тримірне поле може бути описане формулою:

$$\theta = f_3(x, y, z, \tau)$$

де  $x, y, z$  - координати точок поля, температура яких вивчається в певний час  $\tau$ .

Якщо зміна температури по одній осі координат незначна, або відсутня, наприклад, по осі  $z$ , то  $\frac{\partial \theta}{\partial z} = 0$  тоді ми маємо двомірне поле, тобто  $\theta = f_2(x, y, \tau)$ . Якщо можна знехтувати зміною температури повздовж двох осей координат /наприклад,  $OZ$  і  $OY$  / в порівнянні з зміною температури повздовж третьої координати  $OX$ , то одержимо одномірне поле  $\theta = f_1(x, \tau)$ .



$$\frac{\partial \theta}{\partial z} = 0 \quad \frac{\partial \theta}{\partial y} = 0$$

### 5.3. Градiєнт температури

Якщо тіло нагрівати /охолоджувати/, то в ньому завжди є точки, які мають однакову температуру. Поедналиши точки з однаковою температурою, одержимо сімейство ізотермічних поверхонь. Ці поверхні не можуть перетинатися. Переріз ізотермічних поверхонь площиною дозволяє одержати сімейство ліній рівних температур - ізотерм.

Часто описати температурне коло недостатньо, іноді важливіше визначити зміну температури в тому чи іншому напрямку /повздож заготовки, по висоті корпусу верстата іт.ін./. Це виконується за допомогою градієнта температури.

Градiєнтом температури називається вектор, який направлений по нормалі до ізотермічної поверхні в бік зростання температури і чисельно рівний зміні температури на одиницю довжини цієї нормалі.

На рис. 5.4 дано сімейство ізотерм, які відрізняються значенням температур на величину  $\Delta \theta$

$$\lim_{\Delta n \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta n} = \frac{\partial \theta}{\partial n}$$

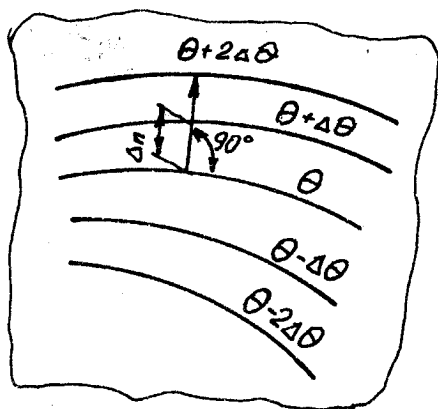


Рис. 5.4

де  $\Delta n$  - відстань, що виміряна по нормалі в даній точці до ізотерми з меншим значенням температури і являє собою чисельне значення градієнта. Позначивши  $1n$  одиничний вектор, перпендикулярний до ізотермічної поверхні, можемо записати:

$$\text{grad } \theta = 1n \frac{\partial \theta}{\partial n} \left[ \frac{C^\circ}{M} \right]$$

Як і будь-який інший вектор, градієнт може бути спроектований по осі координат. Тоді чисельні значення цих проекцій будуть відповідно  $\frac{\partial \theta}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial \theta}{\partial y}$ ,  $\frac{\partial \theta}{\partial z}$ , якщо температурне поле описується виразом  $\theta = f_3(x, y, z, \tau)$ . Якщо є потреба визначити, наприклад, зміну температури  $\Delta \theta_x$  на якійсь ділянці довжиною  $\Delta x$ , то його розраховують за формулою:

$$\Delta \theta_x = \Delta x \frac{\partial \theta}{\partial x},$$

тому що  $\frac{\partial \theta}{\partial x}$  являє собою зміну температури на одиниці довжини.

#### 5.4. Основний закон теплопровідності. Закон Фур'є.

Розглянемо елемент ізотермічної поверхні площею  $dF$  /рис.5.6. В напрямку нормалі  $n$  покажемо вектор  $\text{grad } \theta$ . Він прямує в бік підвищення температури. Внаслідок цього потік тепла в вигляді вектора  $dQ$  прямує в протилежний бік, оскільки тепло переноситься від більш нагрітих місць до менш нагрітих.

У 1822 р. Ж.Б.Фур'є сформулював гіпотезу про те, що кількість тепла  $dQ$ , яка проходить через елемент поверхні  $dF$  за час  $d\tau$ , пропорційна градієнту температури, тобто

$$dQ = -\lambda \text{grad } \theta dF d\tau *$$

Знак мінус показує, що вектор теплового потоку прямує в бік, зворотний напрямку вектора  $\text{grad } \theta$ . Подальші дослідження підтвердили правдивість гіпотез Фур'є, при цьому визначено, що коефіцієнт пропорційності  $\lambda$  є однією з фізичних характеристик речовини, по котрій розповсюджується тепло. Цю характеристику називають коефіцієнтом теплопровідності речовини.

Розмірність коефіцієнта теплопровідності визначається таким чином: в формулу  $dQ = -\lambda \text{grad } \theta dF d\tau$  підставимо в скалярній формі розмірності величин:  $dQ$  - Дж;  $\text{grad } \theta$  -  $^{\circ}\text{C}/\text{м}$ ;  $dF$  -  $\text{м}^2$ ;  $d\tau$  - с і одержимо  $\lambda$  в  $\frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \text{с}^{\circ}\text{C}}$ , або  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^{\circ}\text{C}}$

Відношення  $q = \frac{dQ}{dF d\tau}$ , яке являє собою кількість тепла, що проходить за одиницю часу через одиницю площі ізотермічної поверхні називають щільністю теплового потоку. Якщо в останню формулу підставити значення  $dQ$  із формули \* , то одержимо:

$$q = -\lambda \text{ grad } \theta.$$

Ця формула і зображає основний закон теплопровідності - закон Фур'є - щільність теплового потоку прямо пропорційна градієнту температури.

Якщо є потреба розраховувати кількість тепла, яке пройшло через ізотермічну поверхню площею  $F$  протягом часу  $\tau$ , то, проінтегрувавши вираз \* , одержимо:

$$Q = - \int_0^{\tau} dV \int \lambda \text{ grad } \theta dF$$

### 5.5. Стационарний теплообмін

Якщо процес теплообміну не сталий, то  $q \neq q$ , і температури поверхонь стінки  $\theta_1$  і  $\theta_2$  невпинно змінюються. Якщо процес теплообміну сталий /рис. 5.6 / то  $q_1 = q_2$ , а  $\theta_1$  і  $\theta_2$  зберігають свої значення з часом. Для прикладу стаціонарного теплообміну розглянемо теплопровідність плоскої стінки з однорідного матеріалу до щойно наведеного рисунку. Довжина і ширина стінки значно більші її товщини  $\delta$ , а температури  $\theta_1$  і  $\theta_2$  підтримуються постійними. За цих умов температурне поле буде одномірним, температура буде змінюватися тільки повздовж осі  $X$ , а ізотермічні поверхні будуть являти собою тільки площини, паралельні поверхням сті и.

На деякій відстані  $X$  від поверхні стінки двома ізотермічними поверхнями виділимо шар товщиною  $dX$ . Для цього шару з урахуванням формули закону Фур'є тепловий потік

$$q = -\lambda \text{ grad } \theta$$

$$q = -\lambda \frac{d\theta}{dx} \quad \text{Тоді}$$

$$d\theta = -\frac{q}{\lambda} dx \quad \text{а після інтегрування:}$$

$$\theta = -\frac{q}{\lambda} x + C$$

Одержане рівняння є рівнянням прямої лінії, отже температура усередині плоскої однорідної стінки при постійному коефіцієнті теплопровідності змінюється за прямолінійним законом. Щоб виключити постійну інтегрування  $C$ , скористуємося граничними умовами:

при  $x=0$   $\theta=C=\theta_1$ ; при  $x=\delta$   $\theta=\theta_2$

Після підстановки цих значень в рівняння  $\theta = -\frac{q}{\lambda} x + C$

$$\text{одержимо} \quad \theta_2 = -\frac{q}{\lambda} \delta + \theta_1$$

З цього рівняння визначимо щільність теплового потоку:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (\theta_1 - \theta_2) = \frac{\lambda}{\delta} \Delta \theta$$

Цей вираз є основним рівнянням для розрахунків теплопровідності плоскої однорідної стінки.

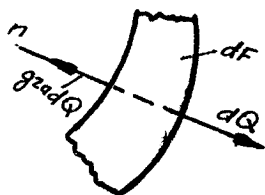


Рис. 5.5

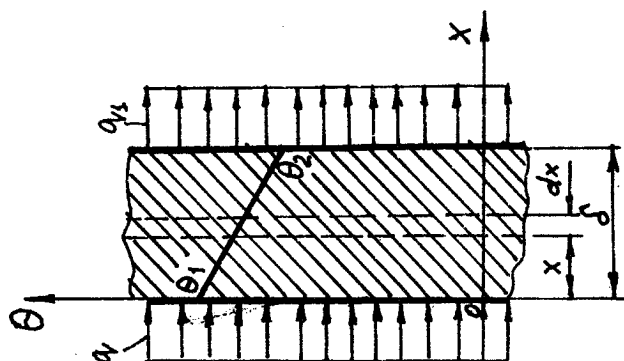


Рис. 5.6

З цього виходить, що тепловий потік прямо пропорційний коефіцієнту теплопровідності і різниці температур зовнішніх поверхонь стінки і обернено пропорційний товщині стінки.

Значення  $\frac{\lambda}{\delta}$  називається тепловою провідністю, а  $\frac{\delta}{\lambda}$  - тепловим або термічним опором стінки.

З урахуванням цього можна одержати залежність

$$q = \frac{\Delta \theta \lambda}{\delta}$$

тобто щільність теплового потоку прямо пропорційна різниці температур і обернено пропорційна термічному опору.

Кількість тепла, яке проходить через плоску стінку,

$$Q = q F \tau = \frac{\lambda}{\delta} \Delta \theta F \tau$$

де  $F$  - площа стінки;  $\tau$  - час.

### 5.6. Нестационарний теплообмін

Як уже відмічалось, нестационарний теплообмін полягає в тому, що температурне поле змінюється протягом часу. Особливістю цього теплообміну є накопичення тепла тільки при нагріванні, або зменшення його при охолодженні.

Якщо будь-яке тіло розташувати в середовищі з більш високою температурою, то в процесі теплообміну між середовищем і тілом останнє буде нагріватися нерівномірно - спочатку нагрівається поверхня, а потім тепло розповсюджується в глибину.

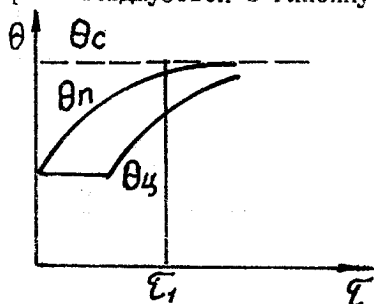


Рис. 5.7

На рис. 5.7 наведені залежності температур поверхні  $\theta_p$  і центру  $\theta_c$  від часу нагрівання. Хоча характер кривої  $\theta = f(\tau)$  залежить від форми, розмірів та фізичних властивостей тіла і середовища, загальним для різних випадків буде те, що температура на

поверхні завжди більша, ніж в центрі тіла. З плином часу температура тіла вирівнюється і стає рівною температурі середовища. Це має місце в тому випадку, коли об'єм середовища безмежно великий і температура протягом часу практично не змінюється.

Кількість тепла при нагріванні тіла теж міняється з плином часу /рис.5.8 /

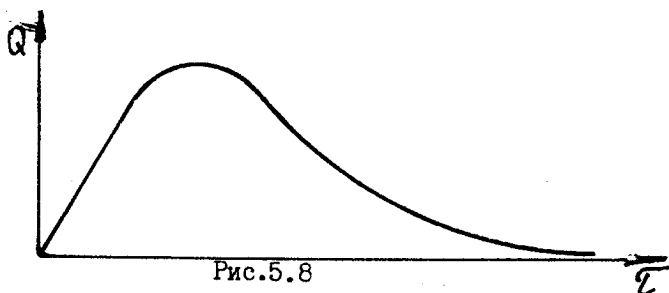


Рис.5.8

Кількість тепла, одержана тілом за час  $\tau$ , подана площею, окресленою кривою та віссю абсцис. Це тепло накопичується тілом.

Прикладом нестационарного теплового режиму може бути різне шліфування. Точіння з постійними режимами різання є нестационарним тільки спочатку, коли температура зростає, потім, коли температура досягне величини, що відповідає умовам різання, робота проходить в стаціонарному режимі.

При нестационарному режимі перерозподіл тепла супроводжується зміною температури окремих елементів тіла.

Виведемо диференціальні рівняння теплопровідності. Для цього виділимо в тілі елементарний паралелепіпед з сторонами  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  і  $\Delta Z$  /рис.5.9 /

В загальному випадку градієнт температури та тепловий потік для різних напрямків різні. Розкладемо зміну теплового потоку  $dQ$  по напрямках  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . На ділянці  $dx$  зміна потоку дорівнює  $\frac{dq_x}{dx} \Delta X$ , на ділянці  $dy - \frac{dq_y}{dy}$  і на ділянці  $dz - \frac{dq_z}{dz} \Delta Z$

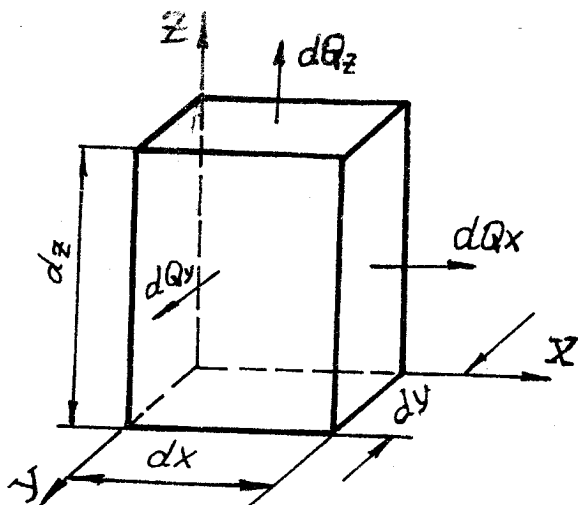


Рис.5.9

Якщо виразити щільності теплових потоків  $q_x$ ,  $q_y$  і  $q_z$  з допомогою  $q = -\lambda \text{grad } \theta$  і помножити їх на площі граней і час  $d\tau$ , одержимо зміни кількості теплоти, яка проходить в напрямках  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ :

$$dQ_x = \left( \frac{\partial q_x}{\partial x} \right) dx dy dz d\tau = -\lambda \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \right) dv dF,$$

$$dQ_y = \left( \frac{\partial q_y}{\partial y} \right) dx dy dz d\tau = -\lambda \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right) dv dF,$$

$$dQ_z = \left( \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) dx dy dz d\tau = -\lambda \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) dv dF,$$

де  $dv$  - об'єм елементарного паралелепіпеда;

$$dv = dx dy dz.$$

Зміна теплового потоку за час  $d\tau$  для елементарного паралелепіпеда

$$dQ = dQ_x + dQ_y + dQ_z = -\lambda \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) dv d\tau$$

У відповідності з законом збереження і перетворення енергії, зміна теплового потоку при проходженні його через паралелепіпед відбувається за рахунок внутрішньої енергії цього еле-

мента, отже  $dQ = dU$ . При зростанні теплового потоку внутрішня енергія елемента зменшується. У відповідності з цим кількість тепла  $dQ$  можна визначити також через теплоємність:

$$dQ = -\rho c dV \left( \frac{\partial \theta}{\partial \tau} \right) d\tau,$$

де  $\rho$  - щільність матеріалу;  $c$  - масова теплоємність;  $\rho c$  - об'ємна теплоємність;  $\frac{d\theta}{d\tau}$  - швидкість зміни температури тіла за часом. Знак мінус показує, що при зростанні теплового потоку внутрішня енергія тіла зменшується. Якщо прирівняти два окремі вирази, то можна одержати:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \omega \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right),$$

де  $\omega$  - коефіцієнт температуропровідності:

$\omega = \frac{\lambda}{\rho c}$  м<sup>2</sup>/с - є фізичною константою речовини, яка характеризує реакцію тіла на перерозподіл тепла, тобто його теплоінерційні властивості

Вираз  $\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \omega \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right)$

є диференціальне рівняння теплопровідності Фур'є.

Його можна записати у вигляді

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \omega \nabla^2 \theta,$$

де  $\nabla^2 \theta$  - оператор Лапласа

$$\nabla^2 \theta = \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2}$$

Якщо температура вздовж осей  $Y$  і  $Z$  не змінюється, то маємо одномірну задачу

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \omega \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}$$



## 5.7. Схематизація компонентів технологічних систем, які беруть участь в теплообміні

Щоб описувати процеси теплопровідності та вирішувати задачі, форма твердих тіл ідеалізується, схематизуються джерела тепла, задається швидкість їх руху і час дії.

Форму тіл подають в вигляді необмеженого простору або напівпростору /обмеженого площиною/; необмеженої пластини; необмеженого в одному або в двох напрямках клину; необмеженого по довжині стержня правильної форми; стержня, необмеженого тільки з одного боку; тіл, які мають замкнутий об'єм і просту форму /кулі, циліндра обмеженої довжини, паралелепіпеда/.

Джерела теплоти схематизуються за формою: одно-, дво-, три-мірні і точечні;

за швидкістю руху: нерухомі, рухомі, швидко рухомі, швидкість яких перевищує швидкість розповсюдження тепла в тілі.

За часом дії: миттєві, діючі обмежений час ; діючі періодично; стаціонарні.

Наскільки швидко рухомим є джерело визначають за критерієм Пекле:  $Pe = V\ell/\omega$ ,

де  $V$  - швидкість руху джерела тепла, м/с;  $\ell$  - його шлях, м;  
 $\omega$  - температуропровідність,  $m^2/s$ .

Джерело тепла вважають швидко рухомим, коли  $Pe \geq 10$ .

Оскільки швидкість переміщення такого джерела перевищує швидкість розповсюдження тепла, то тепло попереду нього не розповсюджується, а тільки під джерелом і позад нього.

З урахуванням спрощень, описаних вище, рівняння теплопровідності можуть бути вирішені одним з наступних методів: класичним; операційним; джерел теплоти; чисельним; моделюванням.

Класичний метод передбачає інтегрування диференціального рівнян-

ня за допомогою одного із відомих методів.

В операційних методах, наприклад, в методі інтегрального перетворення Лапласа, визначається не та функція, яка нас цікавить, а її видозміна, одержана шляхом множення на експоненціальну функцію. Після інтегрування проводиться зворотнє перетворення.

Метод джерел тепла полягає в тому, що кожен з них розглядають як систему точних миттєвих джерел теплоти і процес розповсюдження теплоти в тілі обмежених розмірів уявляють як частку процесу розповсюдження теплоти в тілі необмежених розмірів шляхом введення додаткової системи фіктивних джерел теплоти.

Чисельні методи передбачають вирішення диференціального рівняння методом кінцевих різниць. Він ґрунтується на заміні похідної в рівнянні її приблизними значеннями, які виражаються різницями функцій  $Q(x, y, z, t)$  в окремих дискретних точках – вузлах сітки. Диференціальне рівняння в цьому випадку замінюється еквівалентним співвідношенням кінцевих різниць; вирішення цього рівняння проводиться у вигляді алгебраїчних операцій з застосуванням ЕОМ.

Прикладом моделювання є метод електротеплової аналогії. За такі моделі правлять електропровідні суцільні середовища або електричні сітки. Це дає можливість з достатньою точністю визначити кількість виділеного тепла, інтенсивність та значення теплових потоків, рівень температур в будь-якому елементі технологічної системи.

## 5.8. Конвекція і теплове випромінювання

Конвекційний теплообмін характерний для рідини та газових середовищ, частки котрих легко переміщуються. В технологічних верстатних системах конвекція має місце при контакті твердого тіла з рідиною та газом. Наприклад, при застосуванні змащувально-охолоджуючих речовин, а також в гідро- та пневмосистемах верстатів.

Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$  характеризує інтенсивність теплообміну між твердим тілом та рідким або газоподібним середовищем. Згідно з цим тепловий потік  $Q$  може бути визначений за формулою Ньютона:  $Q = \alpha (\theta - \theta_c) A$ ,

тобто потік  $Q$  пропорційний поверхні теплообміну  $A$  та різниці температур тіла  $\theta$  і середовища  $\theta_c$ . Коефіцієнт тепловіддачі можна визначити як кількість теплоти, яка віддається за одиницю часу одиницею поверхні при різниці температур між поверхнею та рідиною, яка дорівнює одному градусу:

$$\alpha = \frac{Q}{A (\theta - \theta_c)} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$$

Коефіцієнт тепловіддачі може змінюватися повздовж поверхні теплообміну і тому треба розрізняти середній і місцевий /локальний/ коефіцієнти тепловіддачі; локальний відповідає одиничному елементу поверхні.

Тепловіддача тісно пов'язана з характером руху середовища /ламінальний чи турбулентний/, з кінематичною в'язкістю, швидкістю руху, теплофізичними властивостями і т.і. З цієї причини коефіцієнт тепловіддачі краще визначити експериментальним шляхом.

Випромінювання властиве твердим тілам, рідинам, газу та трьох- і багатоатомним газам. Носієм енергії випромінювання може бути потік квантів або фотонів, котрі мають властивості електромагнітних хвиль. Він може розповсюджуватися в газоподібному середовищі, в вакуумі і в деяких твердих тілах.

Енергія, яку випромінює тіло в простір, при попаданні на інші тіла частково поглинається, частково відбивається, а частково проходить крізь тіла. Енергія випромінювання, яка поглинається тілом, перетворюється в теплоту. Енергія, яка відбивається від оточуючих тіл, та їх особисте випромінювання при попаданні на будь-

яке тіло частково ним поглинається.

Кількість теплоти, яка випромінюється одиницею поверхні тіла за одиницю часу визначається за законом Стефана-Больцмана:

$$E = \epsilon C_0 \left( \frac{\theta}{100} \right)^4 \frac{F_T}{M^2},$$

де  $C_0$  - коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, який дорівнює  $5,7 \cdot 10^{-4} \frac{Вт}{M^2 K^4}$  ;

$\theta$  - абсолютна температура поверхні тіла, К;

$\epsilon$  - ступінь чорноти тіла, для сталених та чавунних деталей вона дорівнює 0,4 - 0,7.

Всі тіла безперервно випромінюють енергію і одночасно поглинають випромінювання інших тіл за умови, що промені потрапляють на їх поверхню. З цієї причини, якщо поблизу досліджуваного тіла розташовані інші тіла, треба враховувати також енергію, яку вони випромінюють. Таким чином, кількість теплоти, яка віддається тілом внаслідок теплообміну випромінюванням, дорівнює різниці між кількістю енергії, яка випромінюється і поглинається.

# ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

## 1. ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

1. Вимоги до інструментальних матеріалів.
2. Назовіть основні групи і марки сучасних інструментальних матеріалів.
3. Яка теплостійкість основних марок інструментальних сталей?
4. Яка теплостійкість основних груп твердих сплавів?
5. Які Ви знаєте надтверді інструментальні матеріали?
6. Які відомі риси штучного алмазу?
7. Які переваги перед штучним алмазом має кубічний нітрид бору?
8. Якими матеріалами обробляють загартовані сталі?
9. Які тверді сплави використовують при точінні конструкційних сталей, жаротривких сталей, чавунів?

## 2. ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ РІЗЦІВ

1. Назовіть кути, які вимірюються в головній січній площині. Дайте схеми і визначення.
2. Назовіть кути, які вимірюються в основній площині. Дайте схеми і визначення.
3. Як визначається кут нахилу головної ріжучої кромки?
4. Дайте схеми і визначення поверхонь заготовки.
5. Які Ви знаєте координатні площини? Дайте схеми і визначення.
6. Покажіть/на схемі / елементи ріжучої частини токарного різця.
7. Дайте схеми площин різання для різних типів різців.

## 3. ЕЛЕМЕНТИ РІЗАННЯ ТА ЗРІЗУВАНОГО ЦАРУ

1. Які Ви знаєте рухи при точінні?
2. Дайте схеми і визначення глибини різання.
3. Що таке швидкість різання / визначення /? Покажіть зв'язок швидкості різання з частотою обертання.
4. Визначення подачі. Які подачі Ви знаєте?

5. Що таке товщина зрізаного шару?

Зв'язок товщини зрізу з елементами режиму різання.

6. Глибина різання, визначення, схематичне зображення.

7. Зв'язок глибини різання з одним із елементів зрізаного шару.

Дайте схему і визначення цього елемента.

8. Наведіть формулу машинного часу.

#### 4. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ МЕТАЛІВ

1. Назовіть типи стружок, дайте їх схеми, наведіть умови утворення різних типів стружок.

2. Площина зсуву, кут зсуву. Дайте схему.

3. Умови утворення наросту. Заходи боротьби з цим явищем.

4. Фактори, які впливають на усадку стружки.

5. Наклеп. Фактори, які впливають на наклеп.

6. Дайте схему складових сил різання.

7. Фактори, які впливають на сили різання. Назовіть і поясніть їх вплив на сили різання.

8. Зношування різців. Критерії зношування.

9. Фактори, які впливають на температуру різання.

10. Наведіть формулу швидкості різання при точінні. Фактори, які впливають на швидкість різання при точінні.

#### 5. ТЕПЛОВІ ПРОЦЕСИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМАХ

1. Що таке технологічна система та підсистема? Наведіть приклади.

2. Назовіть і поясніть на прикладах види теплообміну в технологічних системах.

3. Що таке градієнт температури, як він визначається?

4. Сформулюйте Закон Фур'є.

5. Що таке стаціонарний і нестаціонарний теплообмін?

6. Наведіть диференціальне рівняння теплопровідності Фур'є.

## Список

### використаної літератури

1. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. - М.: Машгиз, 1975.
2. Петруха П.Г. Технологическая обработка конструкционных материалов. -М.: Высшая школа, 1991.
3. Филоненко С.Н. Резание металлов. - К.: Техніка, 1975.
4. Яцерицын П.И., Еременко М.П., Фельдштейн Е.Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах. - М.: Машиностроение, 1990.
5. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. - М.: Машиностроение, 1990.
6. Трент Е.М. Резание металлов. Перевод с английского. - М.: Машгиз, 1980.
7. Полетика М.Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. - М.: Машгиз, 1969.
8. Яцерицын П.И., Еременко М.Л., Мигелко Н.И. Основы резания материалов и режущий инструмент. - М.: Высшая школа, 1981.
9. Развитие науки о резании металлов. Под редакцией Зорева Н.Н. -М.: Машиностроение, 1967.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчальне видання  
Володимир Олександрович КУЗЬМЕНКО

ТЕОРІЯ РІЗАННЯ  
ч. I  
ТОЧІННЯ

Навчальний посібник  
Вінниця ВДТУ 1996

Редактор В.О.Дружиніна

Тир. 75 екз.

---

ВДТУ, 286021, м.Вінниця Хмельницьке шосе, 95

---