

621.81(075)

К 49

**С.А. Клименко,  
Л.Г. Полонський,  
Ю. О. Харламов**

**ТЕХНОЛОГІЯ РЕМОНТУ  
ТА ВІДНОВЛЕННЯ  
(ЛЕЗОВА ОБРОБКА  
ДЕТАЛЕЙ В РЕМОНТНОМУ  
ВИРОБНИЦТВІ)**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЖИТОМИРСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

**С.А. Клименко, Л.Г. Полонський, Ю.О. Харламов**

**ТЕХНОЛОГІЯ РЕМОНТУ ТА ВІДНОВЛЕННЯ  
(ЛЕЗОВА ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ  
В РЕМОНТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ)**

Навчальний посібник

*Рекомендовано  
Міністерством освіти  
і науки України  
як навчальний посібник  
для студентів спеціальності  
7.090202 "Технологія  
машинобудування"*

Житомир – 2008

ББК  
УДК 621.1.01  
К49

Гриф надано Міністерством освіти і науки України  
(лист від 24 січня 2008 р. № 14/18-Г-191)

Рецензенти: д.т.н., професор *А.П. Гавриш*, професор кафедри Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»; д.т.н., професор *А.С. Зенкін*, завідувач кафедри Київського національного університету технологій та дизайну; д.т.н., с.н.с. *Ю.Д. Філатов*, завідувач лабораторії Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України (м. Київ)

**Клименко С. А., Полонський Л. Г., Харламов Ю. О.**

К49 Технологія ремонту та відновлення (Лезова обробка деталей в ремонтному виробництві): Навч. посіб. – Житомир: ЖДТУ, 2008. – 172 с.: Іл. 57. Табл. 52. Бібл. 27 назв.

ISBN 978-966-683-160-9

Розглянуто обладнання, інструменти і технології лезової обробки, що використовуються в умовах ремонтного виробництва, а також сучасні інструментальні матеріали. Наведені рекомендації щодо їх раціонального вибору. Показані можливості обробки точінням, фрезеруванням, свердлуванням тощо при виготовленні запасних частин машин і механізмів зі сталей, чавунів та інших конструкційних матеріалів, при виробництві деталей з наплавленими і напиленими поверхнями. Описано шляхи підвищення працездатності інструментів при обробці важкооброблюваних матеріалів різанням і можливості лезової обробки щодо формування стану поверхонь виробів.

Посібник може бути використаний викладачами, аспірантами і студентами технічних вузів.

ББК  
УДК 621.1.01

453506

ISBN 978-966-683-160-9



© С. А. Клименко, 2008  
© Л. Г. Полонський, 2008  
© Ю. О. Харламов, 2008

## ВСТУП

Технічний прогрес та підвищення вимог до машин та механізмів все гостріше висуває проблему ремонту для усунення їх несправностей і відновлення ресурсу.

Однією з основних складових ремонтного виробництва є механічна обробка деталей. Це стосується як обробки деталей, що використовуються потім у якості запасних частин, так і обробки деталей, що відновлюються нанесенням покриттів (наплавленням, напиленням тощо). В ремонтному виробництві однією з найбільш розповсюджених технологій є лезова обробка, в основному, – точіння, фрезерування, свердління.

Тривалий час при розробці технологічних процесів виготовлення деталей з покриттями основну увагу звертали на операції нанесення покриттів, а забезпеченню точності розмірів і форми поверхонь деталей з покриттями, у т. ч., їх розмірній обробці, взагалі не надавалося значення. При цьому методи, прийоми та режими розмірної обробки деталей з покриттями обирали такими ж, як і при обробці аналогічних деталей без покриттів, не враховуючи їхні специфічні особливості. В цьому навчальному посібнику питання механічної обробки розглядаються комплексно – показано використовуване обладнання, сучасні матеріали для оснащення різальних інструментів, види інструментів і умови обробки в залежності від інструментального матеріалу, операції механічної обробки та оброблюваний матеріал, у т. ч., покриття.

Тенденції удосконалення процесів механічної обробки пов'язані з націленим забезпеченням отримання максимального результату з мінімальними витратами, тобто, з необхідністю забезпечення не тільки продуктивного зняття припуску, а й з необхідністю формування в поверхневому шарі виробу такого стану, який би найкращим чином забезпечував працездатність виробу при експлуатації. В зв'язку з цим у посібнику наведені дані з технологічного забезпечення стану поверхневого шару виробів у процесах лезової обробки.

# 1. УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ЛЕЗОВОЇ ОБРОБКИ

## 1.1. Загальні відомості

Виконавчі рухи при механічній обробці здійснюються кінематичними ланцюгами верстата, що знаходяться між собою у визначеному взаємозв'язку. Терміном «кінематичний зв'язок» визначається зв'язок рухомих елементів верстата між собою. Кожен зв'язок складається з одного або декількох механічних, електричних, гідравлічних і інших ланцюгів, через які здійснюються необхідні виконавчі рухи та забезпечується їхня послідовність.

В залежності від характеру операцій механічної обробки і типу різального інструмента верстата поділяють на групи і типи. За групами верстата поділяють таким чином: 1 – токарні; 2 – свердлильні і розточувальні; 3 – шліфувальні та для фінішної обробки; 4 – комбіновані; 5 – верстата для зубо- та різенарізання; 6 – фрезерні; 7 – стругальні і протяжні; 8 – розрізні; 9 – різні. Кожна з груп поділяється на типи. Наприклад, група токарних верстатів включає наступні типи: 0 і 8 – спеціалізовані; 1 – одношпіндельні; 2 – багатошпіндельні; 3 – револьверні; 4 – свердлильно-відрізні; 5 – карусельні; 6 – токарно-лобові; 7 – багато-різцеві; 9 – різні.

Стандартами встановлено основні параметри верстатів, які характеризують розміри оброблюваних деталей або геометричні розміри верстатів. Наприклад, для карусельних, круглошліфувальних, зубофрезерних верстатів – це найбільший діаметр оброблюваних деталей; для поперечно-стругальних – найбільший хід повзуна; для фрезерних – розміри стола.

Верстата виробляють згідно розмірних рядів, які визначають собою групи однотипного устаткування, що має схожу кінематичну структуру і конструкцію, але різні розміри. ГОСТ 2983–81 передбачає 13 розмірів токарних верстатів (діаметр оброблюваних деталей 80...2500 мм); 6 розмірів круглошліфувальних верстатів (діаметр деталей – 100...800 мм); 5 розмірів зубофрезерних верстатів (діаметр деталей – 800...5000 мм).

Типорозмір верстата – це представник розмірного ряду з конкретними параметрами, а модель верстата – конструкція даного типорозміру.

Умовне позначення верстатів складається з трьох-чотирьох цифр, перша з яких вказує групу, друга – тип, третя і четверта – один із головних розмірів. Наприклад: модель 2150 – вертикально-свердлильний верстат з найбільшим діаметром свердління 50 мм; модель 2A150 – той же верстат, але модернізований; модель 6Н12 – вертикально-фрезерний верстат; модель 6Н12К – копіювально-фрезерний верстат; модель 6Н12Ф – верстат з ЧПК на базі моделі 6Н12. Спеціальні та спеціалізовані верстати позначають шифрами заводу і порядковим номером моделі. Наприклад, ЕЗ-9 – спеціальний верстат для нарізання зубчастих рейок Єгор'євського заводу «Комсомолец».

Класифікація верстатів за ступенем універсальності передбачає розподіл їх за технологічними ознаками: на універсальних верстатах виконуються різноманітні операції на деталях широкої номенклатури в одиничному і дрібносерійному виробництві; на верстатах широкого призначення виконується обмежена кількість операцій на деталях широкої номенклатури у дрібносерійному виробництві; на спеціалізованих верстатах обробляються однотипні деталі різних розмірів у багатосерійному та масовому виробництві; на спеціальних верстатах обробляються деталі одного типорозміру у масовому виробництві.

Класифікація верстатів за точністю передбачає п'ять класів: верстати нормальної точності Н (найрозповсюдженіші); верстати підвищеної точності П (виготовляються на базі верстатів класу Н, але при більш високих вимогах до якості виготовлення основних вузлів); верстати високої точності В, окремі вузли яких виготовлені із дуже високою точністю; верстати особливо високої точності А (виготовляються при більш високих вимогах до точності основних вузлів і деталей, ніж у верстатах класу В); особливо точні верстати З (використовуються для обробки деталей-еталонів).

Співвідношення між допусками на виготовлення верстатів різних класів регламентується відповідними стандартами і виражається геометричною прогресією зі знаменником  $\phi$ .

У верстатобудуванні використовують стандартний ряд значень  $\phi$ : 1,26; 1,41; 1,58.

## 1.2. Характеристика верстатів

Найчастіше в ремонтному виробництві при відновленні та зміцненні деталей машин використовуються токарні, фрезерні і свердлильні верстати.

### 1.2.1. Токарні верстати

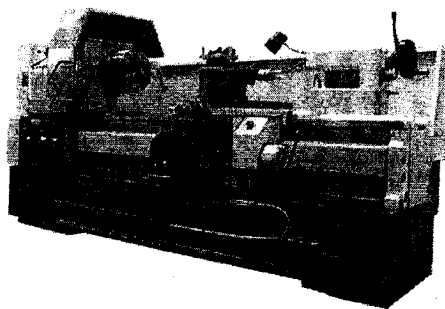
Токарні універсальні верстати (технічні характеристики деяких із них наведені в табл. 1.1) призначені для виконання найрізноманітніших операцій: обробки різцями зовнішніх і внутрішніх циліндричних та фасонних поверхонь, торців, нарізання різі на зовнішніх і внутрішніх поверхнях деталей, відрізання, свердління, зенкерування та розвертування отворів. Спеціалізовані токарні верстати знайшли застосування при обробці однотипних деталей і вузлів.

Таблиця 1.1

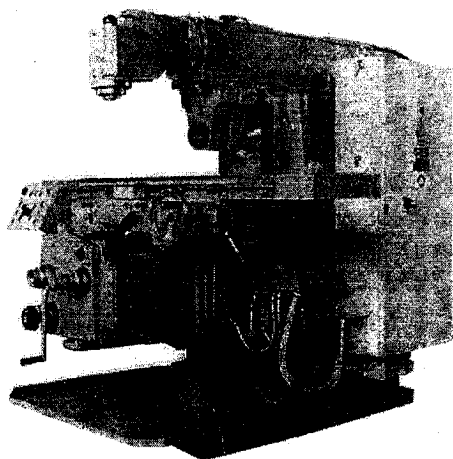
Основні технічні характеристики деяких токарних верстатів

Параметр	Модель		
	токарно-гвинторізний 16К20	токарно-револьверний 1Г340	токарно-карусельний 1512
Найбільший діаметр оброблюваної деталі, мм	400	40...400	250...1250
Діапазон довжини оброблюваної деталі, мм	710...2000	–	–
Діапазон частот обертання шпинделя, хв <sup>-1</sup>	12,5...1600,0	45...2000	5...250
Кількість частот обертання шпинделя	22	12	–
Кількість подач (поздовжніх або поперечних)	–	12	–
Діапазони подач, мм/об: поздовжніх поперечних	0,25...2,80 0,025...1,400	0,035...1,600 0,02...0,80	0,03...12,50 0,03...12,50
Діапазони кроків нарізання метричних різей, мм	0,5...112,0	–	–

На рис. 1.1 показані деякі металорізальні верстати.



*а*



*в*



*б*

Рис. 1.1. Металорізальні верстати: *а* – токарно-гвинторізний; *б* – вертикально-свердильний; *в* – широкоуніверсальний фрезерувальний

З універсальних токарних верстатів найбільш поширеними є токарно-гвинторізні, призначені для виконання усіх токарних операцій; зі спеціалізованих – багаторіздцеві та гідрокопіювальні верстати, призначені для обробки гладких і ступінчастих валів, втулок, фланців та інших деталей.

На токарно-гвинторізних верстатах, крім виконання звичайних робіт, можна нарізати різцями зовнішню і внутрішню різі. Виробництво таких верстатів розвивається шляхом удосконалення керування, підвищення точності, надійності,



збільшення діапазону швидкостей і подач. Деякі токарно-гвинторізні верстати оснащуються копіювальними пристроями, що дозволяє обробляти складні контури без спеціальних фасонних різців і комбінованого інструменту, а також значно спрощує налагодження та переналагодження верстатів.

Крім гвинторізних до групи токарних відносяться також токарні автомати і напівавтомати (одно- та багатшпиндельні), токарно-револьверні, карусельні, різенарізні, лобові, багаторізцеві та спеціальні верстати.

Токарно-револьверні верстати дозволяють працювати одночасно декількома інструментами і швидко переходити від обробки одним інструментом до іншого.

Токарно-карусельні верстати забезпечують обробку великих деталей, в яких радіальні розміри більші за розміри вздовж осі.

Лобові верстати відрізняються від карусельних наявністю горизонтально розташованого шпинделя.

Основними параметрами токарно-гвинторізного верстата є найбільший діаметр оброблюваної деталі над станиною і над супортом та найбільша довжина цієї деталі.

Токарні автомати і напівавтомати застосовуються для виготовлення деталей у вигляді тіл обертання складної конфігурації у багатосерійному та масовому виробництві. Ці верстати бувають універсальними та спеціалізованими, для пруткових і патронних робіт, одно- та багатшпиндельними, горизонтальними і вертикальними. Найчастіше – це багатоінструментальні верстати з декількома супортами.

### **1.2.2. Фрезерні верстати**

Фрезерні верстати – одна з найбільш численних груп верстатів (технічні характеристики деяких із них наведені в табл. 1.2). На них обробляють зовнішні, внутрішні, плоскі та фасонні поверхні, зокрема, на важелях, планках, корпусних та інших деталях, що не є тілами обертання; роблять місцеві вирізи та зрізи, прорізають прямі й гвинтові канавки; нарізають зуби коліс і різі.

Розрізняють верстати загального призначення, спеціалізовані та спеціальні. До перших відносяться універсальні, верти-

кально-фрезерні, горизонтально-фрезерні та поздовжньо-фрезерні верстати; до спеціалізованих – шпонково-фрезерні, копіювально-фрезерні та ін.; спеціальні верстати служать для обробки конкретних типів деталей (наприклад, важелів).

Таблиця 1.2

Основні технічні характеристики деяких фрезерних верстатів

Параметр	Модель	
	універсально-фрезерний верстат 6P82Ш	вертикально-фрезерний верстат 6520Ф3
Розміри робочої поверхні стола (довжина x ширина), мм	1250 x 320	630 x 250
Межі частот обертання шпинделя, $xv^{-1}$ :		31,5...1600,0
горизонтального поворотної голівки	31,5...1600,0 50...1600	
Межі подач, мм/хв: поздовжньої та поперечної вертикальної	25...1400 8,5...416,0	7...700 (регулювання безступінчасте)

Обробка ведеться багатолезовими інструментами – фрезами найрізноманітніших профілів і конструкцій, у т. ч. – дисковими та кінцевими. У всіх фрезерних верстатах головним рухом є обертання фрези.

На вертикально-фрезерних верстатах можна вести обробку фрезами різних типів. Заготовку закріплюють на столі, розташованому на полозках. Стіл рухається у поздовжньому напрямку, полозки – у поперечному.

Існують консольні та безконсольні фрезерні верстати. У консольних верстатах вертикально рухається сама консоль, на якій розміщено полозки зі столом. Шпindelна голівка нерухома.

У безконсольних верстатах полозки базуються на станині верстата, що значно підвищує його жорсткість; шпindelна бабка переміщується вертикально по стійці. Таке компонування верстата є доцільним при обробці важких заготовок і при великих навантаженнях.

Поздовжньо-фрезерні верстати призначені для обробки горизонтальних, вертикальних, похилих і фасонних поверхонь деталей торцевими, циліндричними та фасонними фрезами. Верстати випускаються одно- і двостійковими, з одним або декількома шпинделями, вони мають робочий стіл, що здійснює тільки поздовжні переміщення.

Фрезерні верстати копіювального типу призначені для копіювальних робіт (обробка плоских і об'ємних поверхонь), при цьому контурне копіювання здійснюється двома способами. У першому випадку стіл верстата з оброблюваною деталлю одержує поздовжню подачу і вертикальне переміщення відповідно до профілю копіра, у другому – стіл рухається від механізму подачі верстата, а поперечну подачу забезпечує вантаж, який переміщує стіл на полозках у горизонтальному напрямку.

Шпонково-фрезерні верстати призначені для фрезерування шпонкових пазів. Обробка здійснюється за маятниковою схемою згідно з одним із двох циклів: 1) фреза спочатку врізається на повну глибину паза, потім рухається на поздовжній подачі по всій довжині обробки; 2) фреза врізається на невелику глибину паза, на якій ведеться обробка по всій його довжині.

Компоновка карусельно-фрезерного верстата близька до компоновки безконсольного вертикально-фрезерного. Головна її особливість – забезпечується здатність надання заготівці кругового руху.

### 1.2.3. Свердлильні верстати

Свердлильні верстати (технічні характеристики деяких із них наведені в табл. 1.3) призначені для обробки отворів, зенкування, розвертування та для нарізання різі мітчиком.

Основним параметром, що характеризує розмір верстата, є найбільший умовний діаметр свердління в сталевих заготовках – 2...80 мм (для універсальних верстатів).

Найпоширенішими є вертикально-свердлильні верстати, горизонтально-свердлильні верстати пристосовані для глибинного свердління, а радіально-свердлильні – для обробки габаритних заготовок. Для обробки отворів малого діаметра служать

одношпindelні настільно-свердлильні верстати. В окремий тип виділені багатошпindelні верстати.

Таблиця 1.3  
Основні технічні характеристики деяких свердлильних верстатів

Параметр	Модель	
	вертикально-свердлильний верстат 2Н135	радіально-свердлильний верстат 2554
Найбільший умовний діаметр свердління, мм	35	54
Число частот обертання шпинделя	12	25
Межі частот обертання шпинделя, хв <sup>-1</sup>	31,5...1400,0	18...2000
Кількість подач	9	21
Межі подач, мм/об	0,1...1,6	0,05...5,00
Межі вильоту шпинделя від прямої колони, мм	—	350...1600

Вертикально-свердлильний верстат призначений для свердління, розвертання, зенкерування, розсвердлювання, різенарізання мітчиком в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва.

Радіально-свердлильний верстат призначений для свердління, зенкерування, розвертування отворів, нарізання різі у великих деталях в умовах одиничного та крупносерійного виробництва. Застосування спеціального оснащення дозволяє вирізати великі пластини з листа або внутрішні круглі канавки, виконувати операції, характерні для розточувальних верстатів.

## 2. ЛЕЗОВА ОБРОБКА

### 2.1. Матеріали для різальних інструментів

При виготовленні металорізальних інструментів застосовуються різні матеріали, що мають певний необхідний комплекс механічних і фізико-хімічних властивостей: межі міцності при одновісному розтягуванні і стиску; температурну залежність меж плинності або твердості; температурну залежність меж витривалості; температурну залежність інтен-

сивності адгезії до оброблюваного матеріалу; теплопровідність і температуропровідність; температурну залежність швидкості взаємного розчинення матеріалів різальної частини інструмента і оброблюваної деталі; температурну залежність швидкості окислювання; модуль пружності, температурний коефіцієнт лінійного розширення, коефіцієнт Пуассона. Деякі фізико-механічні властивості конструкційних матеріалів, які використовуються для виготовлення різальних інструментів, представлені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1  
Фізико-механічні характеристики інструментальних матеріалів, які використовуються для виготовлення різальних інструментів

Матеріал	HRC	HV, ГПа	$\sigma_3$ , ГПа	$\sigma_c$ , ГПа	Тепло- стій- кість, °C	Коефіці- єнт тер- мічного розши- рення, $10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Швидко- різальна сталь	62...67	–	2...6	2,5...4,0	600... 620	9,0...12,0
Тверді сплави ТК, ВК	88...89	13...14	0,75...2,60	3,5...5,9	1100... 1300	3,0...7,5
Мінерало- кера- міка	91...94	20...23	0,25...0,60	1,3...3,0	1500	6,3...9,0
ПКА (на основі алмазу)	–	60...100	0,9...1,0	0,4...5,0	800	–
ПКНБ (на осно- ві КНБ)	–	30...40	0,4...1,5	2,0...6,5	1200	4,9...7,9

Для виготовлення робочої частини різальних інструментів застосовуються наступні матеріали: інструментальні вуглецеві та леговані сталі; швидкорізальні сталі; тверді сплави; кермети; мінералокераміка; надтверді матеріали – алмаз природний (А), алмаз синтетичний (АС), кубічний нітрид бору (КНБ). Для кож-

ного матеріалу існує певна оптимальна область його застосування (рис. 2.1, 2.2).

На сьогоднішній день інструментальні вуглецеві та леговані сталі знаходять обмежене застосування в інструментальному виробництві, що пов'язано з їх низькими фізико-механічними властивостями у порівнянні з іншими інструментальними матеріалами. З вуглецевих сталей (У7–У13) виготовляються ручні

та машинні інструменти для обробки пластичних матеріалів з низькими швидкостями різання (0,15...0,25 м/с). Швидкість різання інструментами з легованих сталей (9ХС, ХВГ тощо) на 20...40 % вища.

Значно ширше застосовуються швидкорізальні сталі (табл. 2.2). Їх властивості визначаються вольфрамовим еквівалентом ( $W + 2Mo$ ) %. Розрізняють три групи сталей: з вольфрамовим еквівалентом до 10 % без кобальту; з вольфрамовим еквівалентом до 18 % і вмістом кобальту близько 5 %; з вольфрамовим еквівалентом до 20 % і вмістом кобальту близько 10 %.

З підвищенням вмісту молібдену підвищується теплопровідність швидкорізальних сталей, що призводить до зменшення зносу інструмента. З іншого боку, збільшення вмісту молібдену у сталі до 5 % сприяє підвищенню її крихкості. Зі збільшенням вмісту ванадію теплопровідність сталі зменшується. Це обумовлює збільшення температури і зносу високovanадієвих сплавів при великих швидкостях різання. Збільшення вмісту кобальту у швидкорізальних сталях підвищує їхню теплопровідність, що



Рис. 2.1. Области застосування матеріалів для оснащення різальних інструментів

сприяє зниженню температури на контактних поверхнях інструменту і, внаслідок цього, його зносу.



Рис. 2.2. Галузі застосування матеріалів для лезового інструмента (згідно ISO 513-2004)

До сталей нормальної теплостійкості відносяться сталі марок P18, P12, P9, P6M3, P6M5. Сталі підвищеної теплостійкості містять 4...5 % ванадію при 9...10 % вольфраму або 6...8 %

ванадію, при 2...4 % вольфраму та 2 % молібдену. Прикладом такої сталі є сталь марки Р9Ф5.

Таблиця 2.2  
Фізико-механічні властивості і області застосування швидкорізальних сталей

Марка	Твердість, HRC	Теплостійкість, °С	Межа міцності на згин, $\sigma_s$ , ГПа	Ударна в'язкість, $a \cdot 10^5$ , Дж/м <sup>2</sup>	Область застосування
P18	62	620	2,9...3,1	3,0	Обробка у важких умовах при наявності ударних навантажень
P12Ф3	63	630	3,0...3,1	2,6...2,7	Обробка сталей підвищеної твердості і в'язкості
P6M5	63	620	3,3...3,4	4,8	Обробка у важких умовах зі значними ударними навантаженнями
P18K5Ф2	64	620	2,60...3,16	1,75...2,30	Обробка жароміцних сплавів при високих температурах
P10K5Ф5	63	640	3,5	1,0	Обробка жароміцних сплавів з абразивним впливом при високих температурах
P9K5	63	640	2,5	0,7	Обробка сталей підвищеної твердості і в'язкості з ударними навантаженнями
P9K10	63	640	2,0...2,1	1,6...1,8	Обробка жароміцних сплавів, сталей підвищеної твердості і в'язкості

Випускаються також кобальтові сталі підвищеної теплостійкості. До них відносяться сталі марок P10K5Ф5, P9K5, P6M5K5.

Сталі високої теплостійкості містять до 12 % кобальту і 1,5...2,0 % ванадію.



Застосовуються сталі марок AP6M5, AP12, AP18. Вони відрізняються від сплавів марок P6M5, P12, P18 додатковим легуванням азотом, що підвищує їх червоностійкість і твердість на 1...2 одиниці.

До групи швидкорізальних сталей відносяться також сталі з інтерметалідним зміцненням – У11М7К23, У18М4К25, У7К25 (безуглецеві сталі), 25В20К25ХФ, 30В2К16, ВНИИ-1 (вуглецеві сталі). Вони добре зарекомендували себе в інструментах для обробки титанових, жароміцних, кавітаційно-стійких сплавів.

Перспективним напрямком удосконалення різальних інструментів є виготовлення їх з порошкових швидкорізальних сталей: Р8МЗК6С-МП, Р9М4К8-МП, Р6МЗФ2К8-МП. Стійкість інструментів з цих сталей у 1,5...3,0 рази перевищує стійкість інструментів зі звичайних швидкорізальних сталей.

Для виготовлення інструментів значного перерізу застосовуються литі швидкорізальні сталі, основою яких є відходи швидкорізальних і конструкційних сталей.

Тверді сплави (табл. 2.3) при обробці деталей з чавунів, конструкційних сталей, високолегованих сталей і сплавів дозволяють підвищити швидкість різання у 2,0...2,5 рази або збільшити стійкість інструмента не менш ніж у 3...5 разів. Тверді сплави отримують переважно методами порошкової металургії.

Таблиця 2.3

Фізико-механічні властивості та області застосування твердих сплавів

Марка	Властивості			Область застосування
	щільність, г/см <sup>3</sup>	межа міцності на згин, ГПа	твердість, HRA	
1	2	3	4	5
Вольфрамова група (ВК)				
ВКЗ	15	1,1	89	Чистова обробка сірих чавунів, кольорових металів і неметалевих матеріалів
ВКЗМ	15,2	1,1	92	Чорнова обробка загартованих, відбілених чавунів, цементованих і загартованих сталей, неметалевих матеріалів твердістю HRC < 40

Продовження табл. 2.3

1	2	3	4	5
ВК8	14,6	1,6	87,5	Чорнова обробка сірих чавунів, кольорових металів і сплавів. Обробка високоміцних, корозієстійких і жароміцних, титанових сплавів. Чорнова обробка матеріалів з малими швидкостями різання
ВК6М	15	1,45	90	Напівчистова обробка жароміцних, корозієстійких, середньовуглецевих і легуваних сталей, високоміцних загартованих чавунів, твердої бронзи. Обробка матеріалів з малими швидкостями різання
ВК6ОМ	14,5	1,3	91	Чистова і напівчистова обробка твердих легуваних і відбілених чавунів, легуваних, загартованих, корозійностійких, високоміцних і жароміцних сплавів
ВК10 ОМ	14,4	1,5	90	Чистова і напівчистова обробка твердих, легуваних і відбілених чавунів, деяких марок корозієстійких, високоміцних, жароміцних сплавів, сплавів на основі титану, вольфраму, молібдену. Обробка з малими швидкостями різання
Титано-вольфрамова група (ТК)				
Т30К4	9,6	0,9	92	Чистова обробка незагартованих і загартованих сталей
Т15К6	11,5	1,15	89	Чистова і напівчистова обробка вуглецевих і легуваних сталей

453506

1	2	3	4	5
T5K10	13	1,35	87,5	Чорнова обробка вуглецевих і легованих сталей, матеріалів високої твердості
Титано-тантало-вольфрамова група (ТТК)				
ТТ7К12	13,2	1,6	87	Чорнова обробка вуглецевих і легованих сталей, матеріалів високої твердості
ТТ10К8-Б	13,6	1,45	89	Чорнова і напівчистова обробка корозієстійких сталей, жароміцних, титанових сплавів, матеріалів високої твердості
ТТ20К9	12,5	1,3	89	Чорнова обробка твердих наплавлених матеріалів
Безвольфрамова група (БВТС)				
ТН20	5,5	0,9	90	Чистова і напівчистова обробка низьколегованих і вуглецевих сталей, чавунів, нікелевих сплавів, поліетилену, кольорових сплавів на основі міді
ТН30	5,8	1,10	88,5	Напівчистова обробка легованих і вуглецевих сталей, чавунів та кольорових металів і сплавів
КНТ16	5,8	1,1	89	Напівчистова обробка легованих і вуглецевих сталей, чавунів та кольорових металів і сплавів
ТМ1	5	0,8	92	Чистова обробка чавунів, низьколегованих і вуглецевих сталей, кольорових металів і сплавів
СТИМ-3Б	5,4	1,3	92	Чистова і напівчистова обробка легованих і вуглецевих сталей, чавунів і кольорових металів, корозієстійких сталей

За хімічним складом тверді сплави поділяються на чотири групи – ВК, ТК, ТТК, БВТС. До першої групи матеріалів відносяться вольфрамокобальтові сплави, які містять карбід вольфраму і 6...10 % кобальту. Кобальт виконує роль пластичної зв'язки, що з'єднує між собою частки карбіду вольфрама. Сплави другої групи, крім карбіду вольфраму, містять 5...30 % карбіду титану. У сплавах третьої групи додатково використовується карбід танталу. У четверту групу входять тверді сплави, які або не містять хімічних сполук вольфраму (безвольфрамові сплави), або містять їх значно менше, ніж сплави перших трьох груп.

Одним із напрямків управління експлуатаційними властивостями твердих сплавів є варіювання розмірів часток порошків, з яких спікаються тверді сплави – дрібнозернисті (група М), особливо дрібнозернисті (група ОМ) і грубозернисті (групи К і КС).

Аналіз перспектив застосування інструментів із твердих сплавів і швидкорізальних сталей показує, що виробництво інструменту з твердих сплавів буде значно збільшуватися. Крім того, що обробка інструментом із твердих сплавів характеризується більш високою продуктивністю, це пов'язано і з необхідністю економії дефіцитного вольфраму. Відомо, що вміст 1 кг вольфраму у твердому сплаві дозволяє обробляти у 5 разів більше металу, ніж такий же вміст вольфраму в інструменті зі швидкорізальної сталі.

У безвольфрамових твердих сплавах карбід вольфраму замінений карбідом титану або карбонітридом титану, а в якості зв'язуючого компонента використовують нікель, залізо, молібден. Безвольфрамові тверді сплави характеризуються високою окалинотійкістю, невеликим коефіцієнтом тертя, заниженою схильністю до адгезійної взаємодії з оброблюваними матеріалами, меншою щільністю. З іншого боку, вони мають меншу міцність, ніж вольфрамові тверді сплави, і проявляють схильність до тріщиноутворення при паянні.

У табл. 2.4 наведена класифікація твердих сплавів за ISO.

Одним із перспективних матеріалів для оснащення різальних інструментів є мінералокераміка (табл. 2.5).

Інструментальна мінералокераміка розподіляється на кілька груп матеріалів, які відрізняються хімічним складом, методом виробництва і областями застосування: оксидна, оксидно-карбідна, оксидно-нітридна, нітридна і багатошарова кераміка.

Оксидна кераміка ( $\sigma_3 = 300...400$  МПа) складається, в основному, з оксиду алюмінію  $Al_2O_3$  і легуючих добавок –  $MgO$ ,  $ZrO_2$ . Типовими представниками цієї групи є кераміка марки ЦМ-322.

Оксидно-карбідна кераміка ( $\sigma_3 = 400...650$  МПа) складається з оксиду алюмінію  $Al_2O_3$  (до 60 %), оксиду цирконію  $ZrO_2$  (до 20...40 %), карбїду титану  $TiC$  (до 20...40 %) та інших карбїдів тугоплавких металів з легуючими добавками.

Таблиця 2.4

Відповідність твердих сплавів класифікації ISO

Марка	Група застосування за ISO		Оброблюваний матеріал				
	основна група	підгрупа					
T30K4 T30K4 T30K4 T15K6 T15K6 T14K8 TT20K9 T5K10 TT10K8-Б T5K12	P	P01 P02 P05 P10 P15 P20 P25 P30 – P40	Сталь, сталеве литво, ковкий чавун зі зливоною стружкою				
BK6OM BK6M TT8K6 TT10K8-Б BK10OM BK10M BK8 TT7K12		M		M03 M05 M10 M20 M30 – – M40	Сталь, сталеве литво, марганцевисті сталі, леговані чавуни, аустенітні сталі, ковкий чавун, автоматні сталі		
BK3, BK3M BK3, BK3M BK3, BK3M BK6-OM BK6M TT8K6 BK6, BK4 BK8, BK4 BK8, BK15				K		K01 K 02 K 03 K 05 K 10 – K 20 K 30 K 40	Чавун, кокільне литво, ковкий чавун, загартована сталь, кольорові метали, пластмаси, дерево

До цієї групи матеріалів відноситься кераміка марок ВОК-60, ВОК-63, ВОК-71. На основі оксикарбідної кераміки виготовляється багатошарова (2-, 3-шарова) кераміка ( $\sigma_3 < 950$  МПа). Для виготовлення робочого шару багатошарової кераміки використовуються кераміки марок ВОК-63, ВОК-71, а перший або проміжний шар виготовляються з твердого сплаву. Прикладом такої кераміки є матеріали марок ВОК-95С, ВОК-95М. Оксидно-нітридна кераміка містить  $Al_2O_3$  і  $TiN$ . Представником такого матеріалу є кераміка ОНТ-20. Остання група ( $\sigma_3 = 600...700$  МПа) – кераміки на основі нітриду кремнію  $Si_3N_4$  з легуванням оксидами ітрію, цирконію, алюмінію. До цієї групи відносяться кераміки силініт-Р, Ksion, Ksialon та ін.

Таблиця 2.5

Фізико-механічні властивості та області застосування  
мінералокераміки

Марка	Властивості			Область застосування
	щільність, г/см <sup>3</sup>	межа міцності на згин, ГПа	твердість, HRA	
1	2	3	4	5
ЦМ-332	3,97	0,35...0,40	2300 HV	Чистова і напівчистова обробка нетермооброблених сталей і чавунів, кольорових металів на основі міді з високими швидкостями різання. Робота без ударних навантажень
В3	4	0,48	92	Чистова і напівчистова обробка загартованих сталей твердістю до 55 HRC, чавунів, кольорових металів на основі міді. Робота без ударних навантажень
ВОК-60	4,2	0,6	94	Чистова і напівчистова обробка чавунів, загартованих сталей твердістю до 55 HRC

Закінчення табл. 2.4

1	2	3	4	5
ВОК-63	4,25	0,68	94	Чистова і напівчистова обробка чавунів, загартованих сталей твердістю до 55 HRC
ВОК-71	4,2	0,64	93	Чистова і напівчистова обробка чавунів, загартованих сталей твердістю до 55 HRC
ВОК-95М	—	0,93	93	Чистова і напівчистова обробка цементованих і загартованих сталей, ковких та відбілених чавунів
ОНТ-20	4,4	0,64	91	Чистова і напівчистова обробка чавунів, загартованих сталей твердістю до 55 HRC, кольорових металів на основі міді
Силініт-Р	3,3	0,6	93	Обробка чавунів, загартованих і незагартованих в'язких сталей, алюмінію та його сплавів, жароміцних сплавів у режимі чистового і напівчистового точіння

В якості керамічних фаз використовуються бориди, карбіди, нітриди і оксиди тугоплавких металів, а в якості металевих фаз – метали, у т. ч., тугоплавкі (Co, Fe, Ni, Mo). Широке застосування для виготовлення різального інструменту знайшли кермети на основі боридів цирконію та хрому, карбідів вольфраму, нітриду титану, карбідів хрому, оксиду алюмінію.

Кермети за своїм хімічним та фазовим складом не можуть бути віднесені ні до однієї з відомих на сьогодні груп інструментальних матеріалів. Створення керметів відкриває нову групу інструментальних матеріалів.

Інструментальні кермети об'єднують в собі властивості керамічної і металеві складових. Вони відрізняються від мінеральної кераміки більш високою міцністю, заниженими крихкістю і схильністю до виникнення тріщин при напаяванні на інструмент. Кермети, що випускаються промисловістю, можна розділити на дві групи: 1) кермети, що складаються з оксиду алюмінію  $Al_2O_3$  і металеві зв'язки, масовий вміст якої не перевищує 10 %; 2) оксидно-карбідні кераміки, що складаються з  $Al_2O_3$  і металевих карбідів.

Найбільше поширення одержали кермети оксидно-карбідного складу. У порівнянні з оксидними керметами вони мають вищі теплопровідність, термічну стійкість і стійкість до ударних навантажень.

Іноді до керметів відносять також композиції з металевих фаз і металоподобних сполук типу карбідів, силіцидів, боридів і нітридів.

Промислові марки керметів мають межу міцності на згин 600...800 МПа, на стиснення – 2800...3000 МПа при 20 °С, 1500 МПа при 400 °С і 500 МПа при 1200 °С.

Максимальна міцність керметів на згин значно менша, ніж твердих сплавів. Це обмежує навантаження (як статичні, так і ударні) на керамічні інструментальні матеріали при різанні. Однак, суттєвою перевагою керметів є збереження ними високої міцності на згин при нагріванні до температури 900...1000 °С.

Швидкорізальна сталь значно втрачає вихідну міцність, а, отже, і різальні властивості вже при температурі 540...550 °С, а тверді сплави – при температурі 700...750 °С.

Висока твердість керметів зберігається до температури 1050...1100 °С. З рис. 2.3 видно, що твердість кермету у температурному інтервалі 600...1100 °С значно вища, ніж швидкорізальної

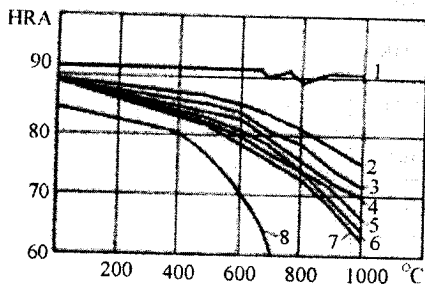


Рис. 2.3. Залежність твердості інструментальних матеріалів від температури нагрівання: 1 – кермет НС20М; 2 – BK2; 3 – T30K4; 4 – T14K8, T15K6; 5 – BK6; 6 – BK8; 7 – T5K10; 8 – P18



сталі і твердих сплавів, і залишається приблизно постійною. Збереження вихідної твердості у широкому інтервалі температур, а також високий опір окислюванню обумовлюють більш високу зносостійкість керметів при різанні металів на високих швидкостях порівняно з твердими сплавами та швидкорізальними сталями.

У зв'язку з розширенням використання важкооброблюваних матеріалів особливу увагу звертають на створення принципово нових композиційних інструментальних матеріалів, придатних для ефективної обробки високоміцних сталей і сплавів, і розробку нових технологічних процесів виготовлення деталей. Особливий інтерес, з точки зору підвищення ефективності обробки у машинобудуванні, представляє клас полікристалічних надтвердих матеріалів (ПНТМ) – композитів на основі алмазу та кубічного нітриду бору (КНБ) (рис. 2.4, табл. 2.6, 2.7).

Таблиця 2.6

Фізико-механічні властивості та області застосування  
ПНТМ на основі полікристалів алмазу

Марка	Властивості			Область застосування
	щільність, г/см <sup>3</sup>	межа міцності на згин, ГПа	твердість за Кнуппом	
АСБ	3,7	0,78	50...80	Тонка і чистова обробка титанових, висококремністих алюмінієвих сплавів, склопластиків і пластмас, мінералокераміки, твердих сплавів, мідних сплавів
АСПК	3,75	0,5...1,0	80...100	
СКМ	–	–	60...70	
СВБН	3,35	–	70...100	
СВ	–	–	65...100	
АТП	3,76	0,80...0,85	50	Чистова обробка граніту, висококремністих алюмінієвих сплавів, полімерних композиційних матеріалів з абразивними наповнювачами, напилених порошкових матеріалів на основі Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

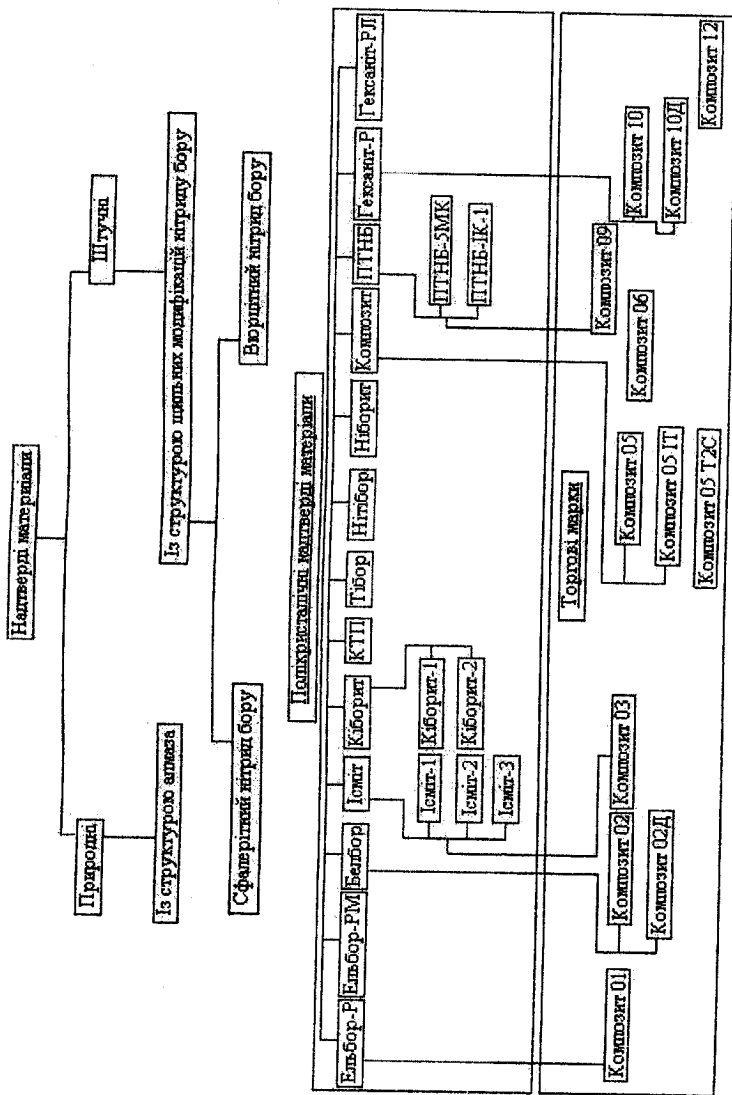


Рис. 2.4. Надтверді інструментальні матеріали

За своїми фізико-механічними та різальними характеристиками НТМ суттєво перевершують інші інструментальні матеріали.

Полікристалічні алмази АСБ (баллас) і АСПК (карбонадо) випускаються трьох видів – відповідно АСБ-5, АСБ-6, АСБ-5А и АСПК-1, АСПК-2 і АСПК-3.

Таблиця 2.7

Фізико-механічні властивості та області застосування  
ПНТМ на основі КНБ

Марка	Властивості			Область застосування
	щільність, г/см <sup>3</sup>	межа міцності на згин, ГПа	твердість за Кнуппом	
Композит 01	3,4	0,85	32...38	Чистова обробка загартованих сталей і чавунів
Композит 02	3,45	0,7	38	
Композит 05	4,3	0,47	18,8	Чистова обробка чавунів і сталей середньої твердості
Композит 09	–	1	–	Чистова обробка загартованих сталей і чавунів
Композит 10	3,3	1,2...1,5	30...38	Безперервне різання загартованих сталей, чавунів, твердих сплавів (Co > 15 %), наплавлених і напилених покриттів
Киборит	3,3	0,65	32...36	Перервне різання загартованих сталей, чавунів, твердих наплавлених матеріалів мартенситного класу, напилених покриттів на основі Ni, Co, Fe, WC

Матеріали марок СВБН і АТП є двошаровими композитами – верхній шар товщиною 0,6...1,0 мм виготовлений із синтетичного алмазу, нижній шар – із твердого сплаву. Композити 02, 10 і киборит

рит також є двошаровими матеріалами. Композити 10 і киборит виробляються під марками відповідно Композит 10Д і КТП.

Обробка інструментами, оснащеними монокристалічними алмазами, ПНТМ на основі синтетичного алмазу та щільними модифікаціями КНБ – вюрцитною і сфалеритною, – найбільш повно відповідає тенденціям розвитку процесів механічної обробки: вона проводиться з високою швидкістю різання та забезпечує формування необхідного стану поверхневого шару виробів.

Більшість з цих покриттів є PVD-покриттями (наносять фізичним осадженням парів), зокрема, TiN, TiCN, TiAlN и CrN, з товщиною 1...5 мкм (1...10 мкм для CrN). При підвищенні температури різання їхня твердість зменшується не так інтенсивно, як твердість CVD-покриттів (наносять хімічним осадженням парів). Розроблено технології, що дозволяють наносити покриття повторно (10...15 разів) без надмірного збільшення їхньої товщини.

Для підвищення стійкості інструментів необхідно мінімізувати інтенсивність зношування їхніх різальних кромки. Матеріали різальних інструментів повинні мати високу зносостійкість при різних видах зношування, а також бути достатньо пластичними, щоб протистояти розколюванню і розтріскуванню. Оскільки таких властивостей жоден інструмент у комплексі не має, одним із найбільш ефективних вирішень проблеми підвищення стійкості інструменту є нанесення на його робочі поверхні функціональних зміцнювальних покриттів (табл. 2.8).

Покриття на інструментах, у першу чергу, забезпечують збільшення їхньої стійкості і поліпшення різальних властивостей. Покриття стають більш тонкими, а технологія їхнього нанесення – більш складною. З розширенням кількості геометричних параметрів різальних інструментів розширюється і номенклатура покриттів.

Одним із перспективних напрямків підвищення різальних властивостей і температурної стійкості лезових інструментів є нанесення дискретних захисних покриттів. Вони добре зарекомендували себе в умовах високих контактних навантажень, характерних для процесів різання. Інструменти з такими покриттями забезпечують дотримання принципу Шарпі, відповідно до якого структура поверхонь тертя повинна містити тверді вкраплення і пластичну матрицю. Експерименти з чистового точіння високолегованих відбілених чавунів інструментом із твердого сплаву показали, що

стійкість інструмента, зміцненого дискретним покриттям TiN, у 1,3...1,5 рази вища, ніж інструмента із суцільним шаром покриття.

Таблиця 2.8

Властивості захисних покриттів

Склад покриття	Мікротвердість, HV, ГПа	Стійкість до окислювання (максимальна температура експлуатації, °C)	Коефіцієнт тертя
TiN	19,3...22,0	600	0,5
TiC	28...30	400	–
TiCN	30	400	0,4
TiAlN	30...35	540	0,4
TiAlCrN	35	920	0,4
TiAlCrYN	27	950	–
CrN	16,5...21,5	700	0,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21...30	1200	–
ZrN	28	600	0,6
MoS <sub>2</sub>	15	–	0,02
WC/C	15	300	0,2

Розроблено технології нанесення подвійних покриттів, які дозволяють одержувати на інструменті передню та задню поверхні з різними функціонально оптимізованими зовнішніми поверхнями. При цьому на задню поверхню наноситься тверде термічно ізольоване покриття, а на передню – нанокристалічне покриття, яке забезпечує низький коефіцієнт тертя у процесі різання.

Створено різальні інструменти зі зносостійким покриттям на передній поверхні та індикаторним покриттям на задній поверхні. Завдяки індикаторному покриттю зменшується інтенсивність зношування інструмента і підвищується продуктивність обробки на 75 %. Інструменти з двома функціональними покриттями знайшли використання на операціях точіння, фрезерування та свердління.

Існуюча тенденція обробки з мінімальним охолодженням або зовсім без нього вимагає вирішення багатьох проблем, зокрема, проблеми забезпечення високих різальних властивостей інструмента у широкому інтервалі температур при досягненні необхідної якості обробленої поверхні. Одним із засобів вирішення цієї

проблеми є інтеграція мастила в інструмент. Наприклад, нанесення методом PVD шару дісульфіду молібдену товщиною 0,2...0,5 мкм на функціональні покриття дозволяє одержати мінімальний коефіцієнт тертя і виняткові можливості сходження стружки по передній поверхні інструмента. Такий підхід найбільш ефективний при обробці пластичних і в'язких матеріалів або у випадках обмеженої подачі мастила в зону різання.

Практично всі відомі світові виробники випускають різальні інструменти, оснащені швидкорізальними сталями, твердими сплавами, керамікою і ПНТМ на основі КНБ, із захисними покриттями. У світі більше 60 % усіх твердосплавних інструментів випускається зі зносостійкими покриттями. Покриття наносяться також на 30 % сверدل і фрез із швидкорізальних сталей.

У практиці механічної обробки все частіше зустрічаються приклади застосування твердосплавного або керамічного інструменту з алмазним покриттям. Тонкі алмазні покриття (до 50 мкм) знаходять широке застосування на інструментах складної форми (свердлах, розвертках, зенкерах). Такі покриття, на відміну від полікристалів, не містять зв'язки, мають твердість на рівні твердості природного алмазу та високу теплопровідність.

Чим дрібніші кристали в алмазному покритті, тим вища стійкість інструмента, на поверхні якого це покриття нанесене. При створенні нанокристалічних алмазних покриттів можна розраховувати практично на 100-разове збільшення періоду їхньої стійкості порівняно з покриттями, в яких розмір кристалів становить 1...5 мкм. Такі покриття дозволяють обробляти без застосування змащувально-охолоджувальних рідин силумінові сплави, а також багато інших важкооброблюваних матеріалів.

Останнім часом почали наносити захисні покриття і на різальні інструменти з ПНТМ на основі КНБ. Хімічний та фазовий склад покриттів залежить від характеру контактної взаємодії в зоні різання між інструментом і деталлю. Для мінімізації абразивної та адгезійної взаємодії на КНБ методом PVD наносяться покриття TiAlN. Для захисту від хімічного та дифузійного зношування використовуються CVD-покриття на основі  $Al_2O_3$ .

Для кожного з розглянутих вище інструментальних матеріалів існує оптимальна область його ефективного застосування,

що визначається не тільки властивостями інструментальних матеріалів, але й їхньою вартістю.

Для порівняння на рис. 2.5 приведені області оптимального застосування інструментів, оснащених твердими сплавами та КНБ, при фрезеруванні і точінні загартованих сталей. Видно, що використання інструменту з КНБ є доцільним при високих швидкостях різання, особливо, при обробці високотвердих матеріалів. Для обробки матеріалів середньої твердості зі швидкостями різання 100...200 м/хв раціональніше використовувати інструмент із твердо-го сплаву, який має меншу ціну.

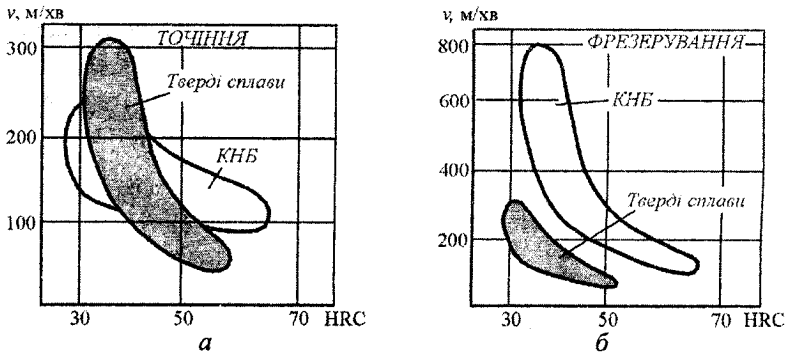


Рис. 2.5. Области оптимального застосування інструментів, оснащених твердими сплавами і ПНТМ на основі КНБ при точінні (а) та фрезеруванні (б)

Остаточний вибір матеріалу для робочої частини метало-різального інструменту залежить від його типу, умов роботи, конструктивних особливостей різальних елементів, геометричної форми та розмірів оброблюваної деталі і фізико-механічних властивостей її матеріалу, кінематичної схеми зняття припуску, вимог до стану поверхневого шару обробленої деталі та економічних показників, зокрема, вартості інструментального матеріалу.

Для виготовлення державок, хвостовиків і корпусів інструментів використовуються мало- і середньовуглецеві сталі (сталь 45, 40Х, 40ХН) після термічної обробки до твердості 35...45 HRC.

## 2.2. Технологічні можливості процесів лезової обробки

Найбільш розповсюдженими процесами лезової обробки є точіння, фрезерування, свердління, розвертування та протягування.

Точіння поділяється на чорнове, напівчистове, чистове і тонке. Особливим видом точіння є алмазне мікроточіння.

Чорнове точіння застосовується для обробки поверхонь з припуском на попередню обробку більше 5 мм. При чорновому точінні циліндричних поверхонь забезпечується точність на рівні 12...14 квалітетів. При цьому величина макровідхилень складає 160...500 мкм на 1 м довжини, шорсткість поверхні характеризується параметрами  $Ra$  12,0...40,0 мкм і  $Sm$  0,32...1,25 мм.

Напівчистове точіння застосовується для підвищення точності обробки до 10...12 квалітетів, зменшення похибок геометричної форми та величини макровідхилень до 80...200 мкм на 1 м довжини і шорсткості поверхні виробів до  $Ra$  2,0...16,0 мкм і  $Sm$  0,16...0,40 мм.

При чистовому точінні точність розмірів забезпечується на рівні 8...10 квалітетів, макровідхилення складають 40...100 мкм на 1 м довжини, шорсткість поверхні –  $Ra$  0,8...2,5 мкм і  $Sm$  0,08...0,16 мм.

Тонке точіння застосовується для остаточної обробки зовнішніх та внутрішніх циліндричних поверхонь і у багатьох випадках може замінити шліфування. Ця операція виконується на високих швидкостях різання, малих глибинах різання (0,05...0,20 мм) і подачах (0,05...0,15 мм/об) на спеціальних верстатах. Тонке точіння забезпечує високу точність при незначній шорсткості циліндричних, конічних, сферичних, плоских торцевих і фасонних поверхонь обертання. Сутність тонкого точіння полягає у знятті стружки дуже малої товщини з високими швидкостями різання. Швидкість різання при тонкому точінні складає 100...1000 м/хв в залежності від оброблюваного матеріалу. Для чавунних деталей вона сягає 100...150 м/хв, для сталевих – 150...250 м/хв, для деталей з кольорових металів і сплавів – 500...1000 м/хв. Подача при тонкому точінні встановлюється для попередніх проходів у межах 0,15 мм/об, а для остаточного проходу – 0,01 мм/об. Відповідно змінюється і глибина різання: 0,1...0,2 мм на попередніх проходах і 0,05...0,01 мм на остаточному проході.



Зняття малих товщин стружки не потребує значних зусиль різання. За таких умов практично повністю виключається можливість деформаційного зміцнення поверхневих шарів деталі. Малі сили різання не викликають значної пружної реакції технологічної системи «верстат – інструмент – деталь», яка могла б вплинути на точність обробки. Внаслідок зазначених особливостей тонке точіння гарантовано забезпечує 6...8 квалітети точності, а при обробці деталей з кольорових металів і сплавів точність досягає 5...6 квалітетів. Шорсткість обробленої поверхні деталей з чорних металів складає  $Ra$  0,63...2,50 мкм, деталей з кольорових сплавів –  $Ra$  0,16...0,32 мкм.

Тонке розточування в ремонтному виробництві широко застосовується для точної обробки отворів у циліндрах поршневих двигунів і компресорів, отворів під встановлення підшипників тощо. Тонке обточування менш поширене. Найчастіше воно використовується для обробки таких деталей, як поршні автотракторних двигунів і потужних компресорів.

Тонке точіння може бути проміжною операцією між чистовим точінням і такими операціями, як хонінгування, суперфінішування, полірування. Воно здійснюється на спеціальних високооберткових (10000...15000 об/хв) верстатах високої точності і жорсткості (радіальне биття шпинделя не більше 0,005 мм). Різці оснащуються твердими сплавами, алмазами, ельбором та іншими інструментальними матеріалами з високою зносостійкістю. При обробці деталей з кольорових металів і сплавів алмазними різцями забезпечуються точність на рівні 6-го квалітету і шорсткість  $Ra$  0,016...0,040 мкм. Стійкість алмазних різців у десятки разів перевищує стійкість твердосплавного інструменту. Тому інструмент, різальна частина якого виготовлена з синтетичних алмазів, працює тривалий час без перезаточування.

Фрезерування поділяється на чорнове, напівчистове, чистове, а при обробці торцевими фрезами – і на тонке. Чорнове фрезерування застосовується для обробки поверхонь з припуском на попередню обробку більше 3 мм. При чорновому фрезеруванні плоских поверхонь забезпечується точність до 12..14 квалітетів, відхилення форми 100...250 мкм на 1 м довжини і шорсткість  $Ra$  4,0...16,0 мкм,  $Sm$  0,16...0,50 мм. Напівчистове фрезерування застосовується для зменшення похибок геометричної форми і просторо-

вих відхилень. При напівчистовому фрезеруванні відхилення від площинності складає 100...200 мкм на 1 м довжини, шорсткість поверхні  $Ra$  2,5...8,0 мкм,  $Sm$  0,10...0,40 мм. Чистове фрезерування застосовується як остаточна операція обробки після напівчистового фрезерування або як проміжна операція перед наступною фінішною обробкою. При чистовому фрезеруванні досягається точність на рівні 9...11 квалітетів, відхилення від площинності 50...140 мкм на 1 м довжини і шорсткість  $Ra$  1,0...4,0 мкм,  $Sm$  0,08...0,20 мм.

Тонке фрезерування здійснюється переважно торцевими фрезами при обробці плоских поверхонь. Торцеві фрези використовуються для обробки відкритих плоских поверхонь. Фреза встановлюється з нахилом приблизно 0,0001 рад., щоб не допустити контакту зубів, які не беруть участі в різанні, з обробленою поверхнею. При тонкому фрезеруванні з оброблюваної поверхні за декілька проходів знімається припуск 0,2...0,4 мм. Точність фрезерування досягається відповідно до 6...8 квалітетів, відхилення форми складає 20...60 мкм на 1 м довжини, шорсткість обробленої поверхні –  $Ra$  0,32...1,25 мкм,  $Sm$  0,8...2,5 мм.

Однократне фрезерування застосовується у тих випадках, коли похибки розмірів вихідної заготовки обумовлюють припуск на обробку менше 2 мм. При цьому забезпечується відхилення від площинності 20...40 мкм на 1 м довжини і шорсткість поверхні  $Ra$  2,5...12,5 мкм. Застосування швидкісних режимів фрезерування дозволяє зменшити висоту мікронерівностей у 1,5...2,5 рази.

Торцеві фрези застосовуються для обробки великих відкритих поверхонь; набори циліндричних, прорізних і кутових фрез – для обробки ступінчастих поверхонь; фасонні фрези – для обробки складнопрофільних поверхонь; пальцеві та дискові фрези – для обробки пазів і гнізд.

Свердлінням обробляють отвори діаметром до 80 мм. У більшості випадків свердління застосовується як попередня операція механічної обробки.

Зенкерування застосовується для обробки отворів діаметром до 120 мм. Воно поділяється на чорнове і чистове. Після зенкерування досягається точність у межах 10...12 квалітетів і шорсткість поверхні  $Ra$  1,25...3,20 мкм,  $Sm$  0,8...0,25 мм.

Розвертування використовується для одержання точних отворів діаметром до 120 мм після чистових зенкерування або роз-

точування. Після розвертування отвір може оброблятися хонінгуванням, тонким розточуванням, притиранням. Розвертування не виправляє положення вісі отвору. Розрізняють розвертування: попереднє – відповідно до 10...11 квалітетів точності (шорсткість  $Ra$  1,25...2,5 мкм), чистове – відповідно до 8...9 квалітетів точності (шорсткість  $Ra$  0,63...1,25 мкм) і тонке (7...8 квалітети точності). Для остаточної обробки отворів відповідно до 5...7 квалітетів точності застосовується розвертування плаваючими пластинами.

Тонке розвертування отворів відрізняється від звичайного розвертування високою точністю і малою шорсткістю обробленої поверхні, однак, розвертування не виправляє положення вісі отвору, тому що нормально працююча розвертка знімає симетричний припуск по всьому контуру отвору. Тонке розвертування забезпечує точність на рівні 5...6 квалітетів, шорсткість поверхні  $Ra$  0,32...0,63 мкм, але ця технологічна операція порівняно дорога і викликає певні ускладнення при її впровадженні у виробничий процес. При виготовленні розвертки для тонкого розвертування допуск на її діаметр приймають рівним 0,6 від допуску 5 квалітету точності.

Протягуванням обробляються внутрішні та зовнішні поверхні деталей. Внутрішнім протягуванням обробляються наскрізні отвори різного перетину: круглі, квадратні, багатогранні, шлицеві. Зовнішнє протягування застосовується для обробки площин, фасонних поверхонь, зубів.

Протягування гладких циліндричних отворів забезпечує точність відповідно до 6...9 квалітетів і шорсткість поверхні  $Ra$  0,32...1,25 мкм. При чистовому протягуванні отворів підйом на зуб не перевищує 0,02...0,04 мм. Протягування є високопродуктивним методом і має широке поширення в серійному та масовому виробництві. Протягування зовнішніх поверхонь забезпечує точність на рівні 11 квалітету. Операції протягування можуть виконуватись на різних верстатах: горизонтальних і вертикальних, універсальних і спеціальних, автоматах і напівавтоматах.

Прошивання – вид обробки, аналогічний протягуванню. Основним інструментом при прошиванні є прошивка, яку прошивають через оброблюваний отвір за допомогою преса. Прошиванням можна обробляти отвори складної геометричної форми з високою точністю (5...8 квалітети точності, шорсткість поверхні  $Ra$  0,10...0,16 мкм,  $Sm$  0,025...1,000 мм).

### 2.3. Класифікація та види лезових інструментів

Під лезовим інструментом розуміють різальний інструмент із заданим числом лез встановленої форми. Види лезових інструментів за ГОСТ 25751–83 представлені у табл. 2.9.

Таблиця 2.9

Види лезових інструментів

Назва	Визначення
Різець	Однолезовий інструмент для обробки з поступальним або обертальним головним рухом різання і можливістю руху подачі у будь-якому напрямі
Фреза	Лезовий інструмент для обробки з обертальним головним рухом різання без можливості зміни радіуса траєкторії цього руху і хоча б з одним рухом подачі, напрямком якого не збігається з віссю обертання
Осьовий різальний інструмент	Лезовий інструмент для обробки з обертальним головним рухом різання та рухом подачі вздовж осі головного руху різання
Свердла	Осьовий інструмент для утворення отворів у суцільному матеріалі або збільшення діаметрів отворів
Зенкер	Осьовий різальний інструмент для підвищення точності форми отвору і збільшення його діаметра
Розвертка	Осьовий різальний інструмент для підвищення точності форми, розмірів отвору і зниження шорсткості поверхні
Зенківка	Осьовий багатолезовий різальний інструмент для обробки кінчної вхідної ділянки отвору
Цековка	Осьовий багатолезовий різальний інструмент для обробки циліндричної або торцевої ділянки отвору
Мітчик	Осьовий багатолезовий різальний інструмент для утворення та обробки внутрішньої різи
Плашка	Осьовий багатолезовий різальний інструмент для утворення та обробки зовнішньої різи
Протяжка	Багатолезовий різальний інструмент із послідовно виступаючими одне над одним лезами у напрямку, перпендикулярному до напрямку швидкості головного руху, призначений для обробки при поступальному або обертальному головних рухах різання і відсутності руху подачі

Поняття «різальний інструмент» є досить широким. Прийнято класифікувати інструмент за областю його використання, конструктивними особливостями, матеріалом різальної частини тощо.

Вся номенклатура лезових інструментів поділяється на 6 підгруп (різцевий, фрезерний, осьовий, протяжний і прошивний, зуборізний і різенарізний інструмент), кожна підгрупа – на 10 видів, кожен вид інструменту – на 10 різновидів. Кожна підгрупа має власний шифр.

Приклад класифікації підгрупи різцевого інструменту: 21. Різцевий інструмент; 210. Токарні прохідні різці; 211. Токарні підрізні різці; 212. Токарні прорізні і канавкові різці; 213. Токарні відрізні та фасочні різці; 214. Токарні розточувальні різці; 215. Токарні фасонні різці; 216. Резерв; 217. Стругальні різці; 218. Довбальні різці; 219. Інші різці.

У свою чергу, наприклад, вид токарних прохідних різців ділиться на наступні групи: 210. Токарні прохідні; 2100. Прямі прямокутного перетину; 2101. Прямі упорні прямокутного перетину; 2102. Відігнуті прямокутного перетину; 2103. Відігнуті упорні прямокутного перетину; 2104. Для чистових робіт прямокутного перетину; 2105. Для автоматів поздовжнього точіння прямокутного перетину; 2106. Круглого перетину; 2107. Тангенціальні; 2108. Резерв; 2109. Інші різці.

Працездатність і надійність різальних інструмент залежать від стабільності і фізико-механічних властивостей матеріалів та конструктивних форм різальної частини, способу її кріплення на корпусі інструмента. Конструкція інструмента в кожному конкретному випадку визначається умовами його експлуатації.

Сучасні напрямки в області конструювання різального інструменту пов'язані із заміною напаювання різальних пластин їх механічним кріпленням на корпусі інструмента, застосуванням багатогранних непереточуваних різальних пластин і малогабаритних різців – вставок, комбінованих різцевих головок, блоків, фрез і комбінованого інструменту.

На рис. 2.5 показана система умовних позначень різальних пластин, розроблена на основі стандарту ISO 1832–85.

При позначенні різальної пластини вказують: форму, задній кут, клас точності пластини, тип пластини, довжину різальної кромки  $L$ , товщину  $S$  і радіус  $R$  при вершині пластини, а також конструк-

цію пластини і марку інструментального матеріалу. Розрізняють чотири типи конструкцій різальних пластин: цільні (*M*), двошарові (*D*), збірні з монолітними (*Z*) і двошаровими (*S*) полікристалами.

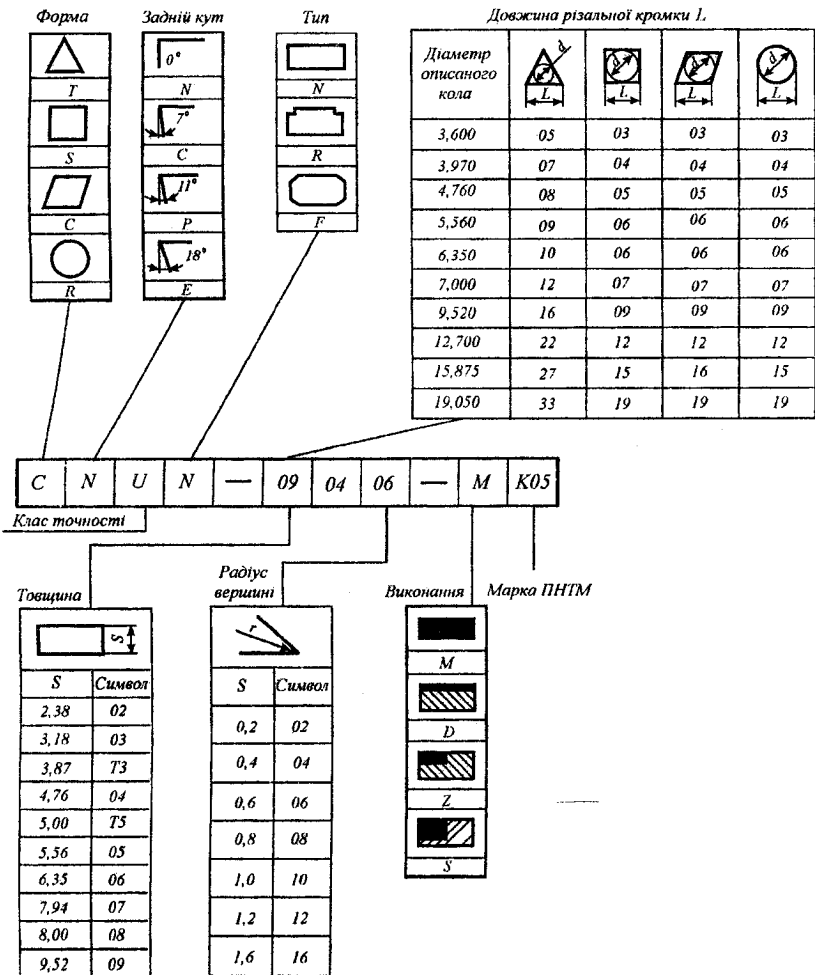


Рис. 2.5. Система умовних позначень пластин із НТМ

Приклад умовного позначення цільної пластини з композиту 05 ромбічної форми, без заднього кута, нормальної точнос-

ті, без стружколомальних канавок, з довжиною різальної кромки 9 мм, товщиною 4,76 мм і радіусом при вершині 0,6 мм: CNUN-090406-МК05.

**Різці.** Найпоширенішими металорізальними інструментами є різці. Вони поділяються на групи за типом державки (прямі та відігнуті, прямокутного і круглого перетину) та за призначенням (прохідні, підрізні, канавкові та прорізні, відрізні, розточувальні, фасонні, стругальні, довбальні та ін.).

Випускаються цільні різці, різці з механічним кріпленням змінних вставок і різальних пластин. За кількістю різальних пластин на різальній кромці різці діляться на інструмент із однією пластиною і з декількома пластинами.

Збірні різці конструктивно оформляються за модульним принципом.

На рис. 2.7 показана схема умовних позначень токарних різців, розроблена на основі стандарту ISO 5608–80.

Умовне позначення різця CSBNR2525M10 розшифровується так: спосіб кріплення – прихватом зверху; форма пластини – квадратна; головний кут у плані – 75°; пластина без заднього кута; тип різця – правий прохідний; перетин державки – 25×25 мм; довжина різця – 150 мм; довжина різальної кромки – 10 мм.

Для розточувальних різців порядок умовних позначень інший: тип державки, діаметр державки, довжина різця, спосіб кріплення різальної пластини, форма пластини, головний кут у плані, задній кут різальної пластини, тип різця, довжина різальної кромки. Умовне позначення різця S25R-CSBNR10 читається так: тип державки – цільна сталевая; діаметр державки – 23 мм; довжина різця – 200 мм; спосіб кріплення – прихватом зверху; пластина – тригранна; головний кут у плані – 75°; пластина без заднього кута; тип різця – правий прохідний; довжина різальної кромки – 10 мм.

Різці різних видів, виконані за модульним принципом, можна розподілити на різці з попереднім механічним кріпленням різальної пластини – різці ПМКП; різці із самозатискними механізмами кріплення різальної пластини – різці СМКП.

Різці з ПМКП (прохідні, розточувальні та підрізні) за конструкцією механізму кріплення бувають трьох різновидів: із силовим замиканням на корпус пластини; із силовим замиканням на стінки пластини; із силовим замиканням на корпус і стінки пластини.

тини (комбіновані). На рис. 2.8 представлені основні схеми механічного кріплення різальних пластин до корпусу інструмента.

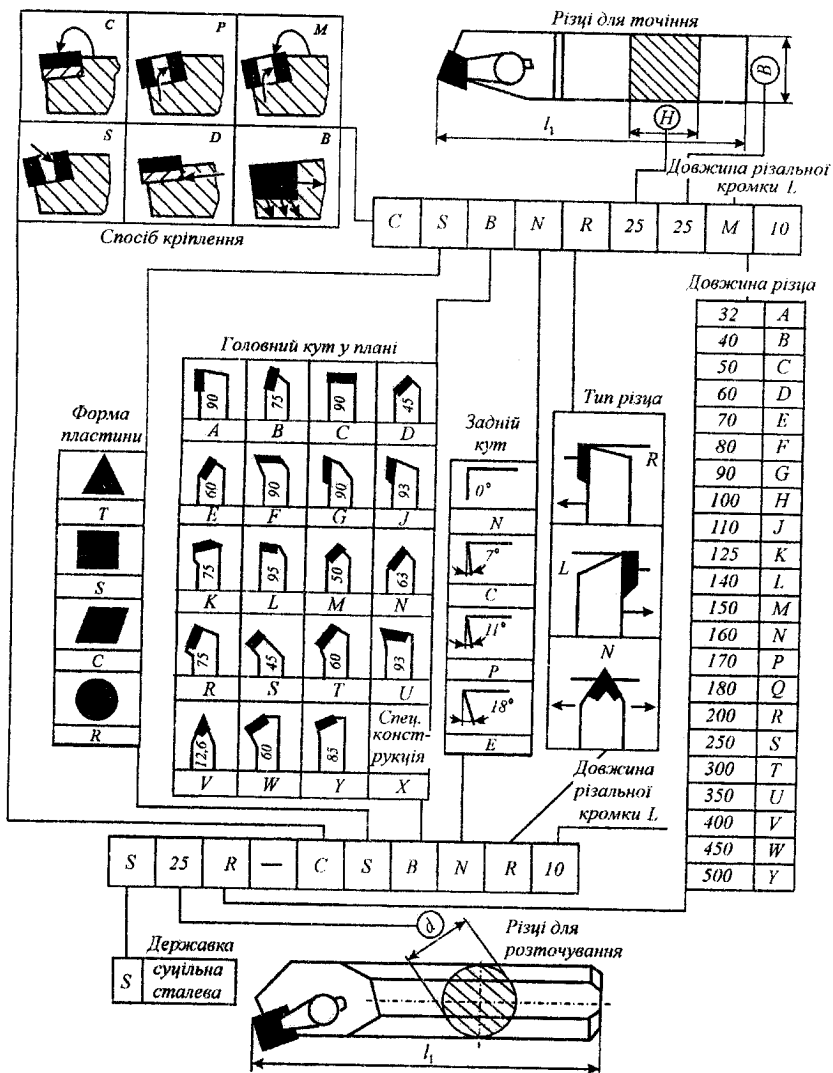


Рис. 2.7. Система умовних позначень різців із НТМ



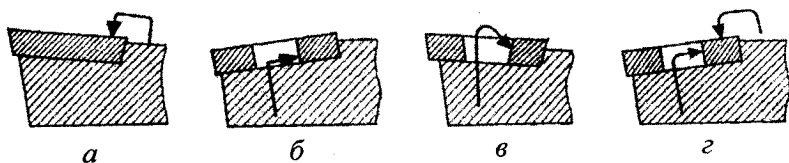


Рис. 2.8. Схеми механічного кріплення різальних пластин

Кріплення здійснюється: притисненням пластини до опорної площини з боку передньої грані або з боку опорної поверхні (рис. 2.8, *а*) (цей різновид кріплення застосовується для закріплення пластин без отворів); підтиск пластини через отвір в упорній поверхні (рис. 2.8, *б*); підтиск пластини через конічний отвір або фаску в упорній поверхні (рис. 2.8, *в*); одночасним притисненням пластини через отвір і до опорної поверхні (рис. 2.8, *г*). Частина конструктивних виконань деяких різновидів кріплення пластин до корпусу інструмента наведена на рис. 2.9.

Різці з ПМКП першого різновиду забезпечують гарантоване ламання або завивання стружки, однак мають більші габарити головки різцевого модуля та велику кількість деталей механізму кріплення пластини. На рис. 2.9, *а, б* показані: корпус 1, опорна пластина 2, різальна пластина 3, стружколом 4, пружина 5, гвинт 6. Різці другого різновиду одержали найбільше поширення у зв'язку з тим, що у них забезпечено вільні доступ до різальної пластини і сходження стружки при невеликій кількості деталей механізму кріплення пластини. На рис. 2.9, *в* показані: корпус 7, різальна пластина 2, опорна пластина 4, важіль 3, гвинт 5 і пружна втулка 6; на рис. 2.9, *г* – корпус 1, різальна пластина 2, гвинт 3. Різці третього різновиду забезпечують високу надійність кріплення різальної пластини. На рис. 2.9, *д, е* показані: корпус 1, опорна пластина 2, різальна пластина 3, штифт 4, гвинт 5, прижим 6; на рис. 2.9, *жс* – корпус 1, різальна пластина 2, гвинт 3.

Різці з СМКП мають самозатисні механізми, що і втримують пластину силами різання. Прохідні, розточувальні та підрізні різці з СМКП бувають двох різновидів: із силовим замиканням на корпус пластини і з силовим замиканням на стінки пластини.

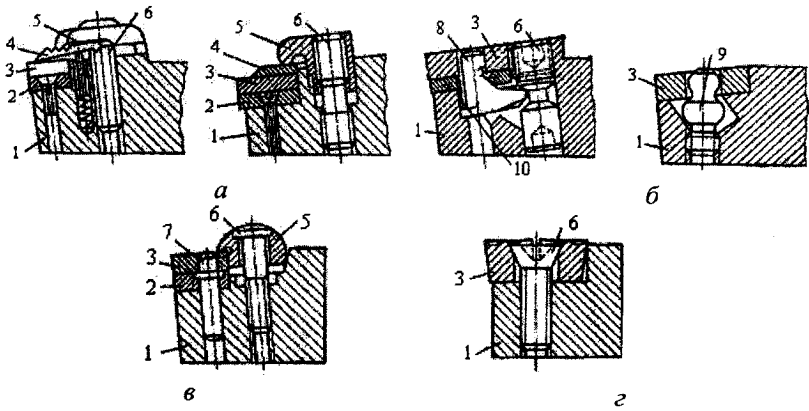


Рис. 2.9. Різновиди кріплення пластин в інструменті: *а* – із силовим замиканням на корпус пластини; *б* – із силовим замиканням на стінки пластини; *в* – із силовим замиканням на корпус і стінки пластини; *г* – із силовим замиканням через отвір і одночасним притисненням до опорної поверхні; 1 – державка; 2 – підкладка; 3 – пластина; 4 – стружколом; 5 – прихват; 6 – гвинт для кріплення; 7 – штифт; 8 – штифт для кріплення; 9 – ексцентрик; 10 – втулка

Для важких умов обробки розроблені спеціальні конструкції інструментів. Деякі з них представлені на рис. 2.10.

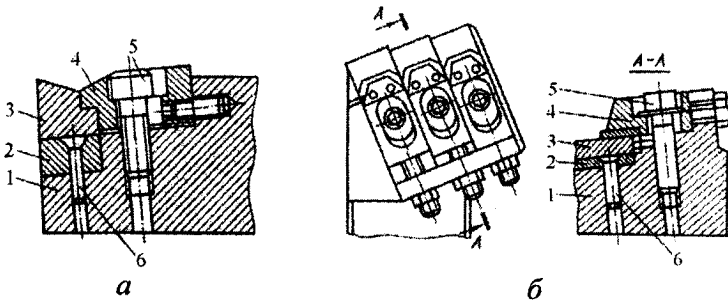


Рис. 2.10. Токарні різці для важких умов роботи: *а* – фіксування прихвата по опорних поверхнях державки; *б* – конструкція, що розподіляє припуск між трьома пластинами: 1 – корпус; 2 – підкладка; 3 – пластина; 4 – прихват; 5 – гвинт

**Розточувальні інструменти.** Розглянемо такі різновиди інструментів, як розточувальні різці та різцеві вставки для тонкого розточування, конструктивне оформлення яких побудовано також за модульним принципом.

Конструкція розточувальних різців зі стрижнями круглого перетину, які застосовуються в одиничному та серійному виробництві, представлена на

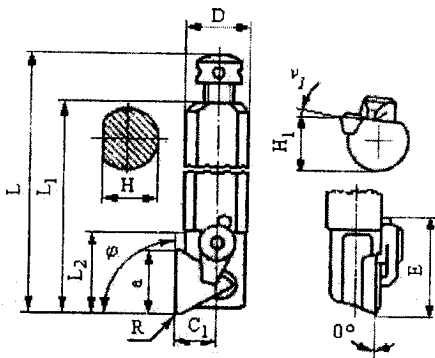


Рис. 2.11. Розточувальний різець

Різцеві вставки призначені для багаторізцевих верстатів при одночасній обробці декількох поверхонь, а також, якщо необхідно перерозподілити гли-

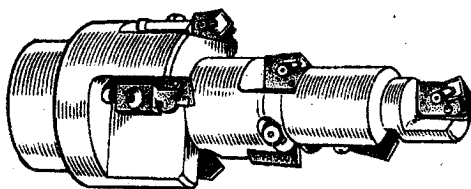


Рис. 2.12. Різцева вставка

бини різання та подачу між декількома різальними кромками (рис. 2.12). Застосування різцевих вставок спрощує конструкцію і виготовлення бортштанги, оснащеної різцевими вставками різних конструкцій, які забезпечують підналагодження положення різальної кромки інструмента відносно оброблюваної поверхні.

Заготовки пластин із ПНТМ випускаються у двох виконаннях: цільні (без підкладки) та двошарові (з твердосплавною підкладкою). З них виготовляються круглі і багатогранні різальні пластини. Якщо конструкція інструмента з механічним кріпленням пластин технічно нездійсненна, пластини напаюють на корпус інструмента. Наявність підкладки дозволяє підвищити міцність різальних елементів, зменшити товщину шару ПНТМ,

цильні (без підкладки) та двошарові (з твердосплавною підкладкою). З них виготовляються круглі і багатогранні різальні пластини. Якщо конструкція інструмента з механічним кріпленням пластин технічно нездійсненна, пластини напаюють на корпус інструмента. Наявність підкладки дозволяє підвищити міцність різальних елементів, зменшити товщину шару ПНТМ,

здійснювати напаявання пластини безпосередньо до корпусу різального інструмента.

Приклади конструкцій різців із механічним кріпленням різальної пластини з ПНТМ представлені на рис. 2.13.

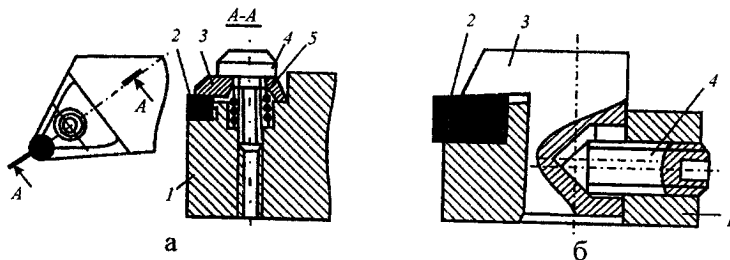


Рис. 2.13. Різці з механічним кріпленням пластин із НТМ: кріплення пластини прихватом зверху (а) і гвинтом збоку (б): 1 – корпус; 2 – пластина; 3 – прихват; 4 – гвинт; 5 – пружина

**Фрези** є другим за розповсюдженістю типом інструмента після різців. Вони поділяються на наступні види: циліндричні, кінцеві, торцеві насадні, торцеві збірні, дискові, кутові, пазові, відрізні, прорізні та ін.

Промисловістю випускається широка номенклатура фрез, різноманіття яких можна звести до двох груп: цільні (з цільною, напаяною або зварною нероз'ємною робочою частиною); збірні (робочі елементи кріпляться у корпусі механічно).

Розміри робочої частини фрез визначаються стандартами і технічними умовами і призначаються відповідно до нормальних розмірних рядів.

Основними конструктивними елементами цільних фрез є робоча (різальна) частина і корпус із кріпильною частиною (рис. 2.14).

Робоча частина фрези характеризується інструментальним матеріалом, розмірами, кількістю і формою зубів та канавок для виходу стружки, взаємним розташуванням зубів, геометричними параметрами різального клина, якістю і точністю виконання. Робоча частина кінцевих фрез діаметром до 12 мм із швидкорізальних сталей виконується з одного з корпусом матеріалу, у фрез діаметром понад 12 мм робоча частина зі швидкорізальної сталі прива-

рюється до сталевому корпусу. Робоча частина кінцевих твердосплавних фрез із циліндричним хвостовиком діаметром до 5 мм виконується заодно з корпусом, а у фрез більшого діаметра припаюється до сталевому хвостовику. Робоча частина кінцевих фрез із конічним хвостовиком виконується у вигляді твердосплавної монолітної головки або пластинок із твердого сплаву, що припаюються до сталевому корпусу. Матеріал корпусу напаяного інструменту – сталь 45, 40X, 40XH твердістю 30...50 HRC.

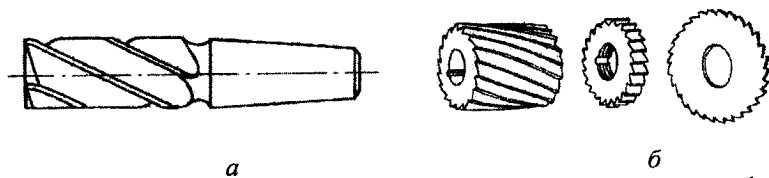


Рис. 2.14. Цільні фрези: *а* – кінцева фреза, *б* – циліндрична і дискова фрези

Збірні фрези складаються з корпусу, різальних і кріпильних елементів. До різальних елементів відносяться гладкі або рифлені ножі з цільною та напаяною робочою частиною, пластини з інструментальних матеріалів.

За способом кріплення на верстаті фрези поділяються на кінцеві та насадні (рис. 2.14, *а*, 2.15).

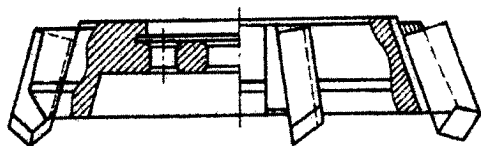


Рис. 2.15. Збірна насадна фреза

Матеріалом корпусу збірних фрез є сталі марок 40X, 45, 50X твердістю 35...55 HRC і сталі марок У8, 9ХС твердістю 45...55 HRC.

До основних параметрів збірних фрез відносяться: діаметр фрези, кількість зубів, геометричні параметри різальних кромки, розміри змінних ножів, розміри пластин, розміри з'єднувальних елементів.

Діаметр збірних фрез  $D$  повинен бути достатнім, щоб забезпечити необхідну точність корпусу та розміщення певної кількості ножів. Діаметр фрези та розміри з'єднувальних елементів повинні відповідати стандартному ряду розмірів. Кінцеві

збірні фрези випускаються діаметром від 20 до 63 мм, насадні – від 80 до 600 мм.

Особливу групу збірних фрез представляють торцеві фрези (рис. 2.16).

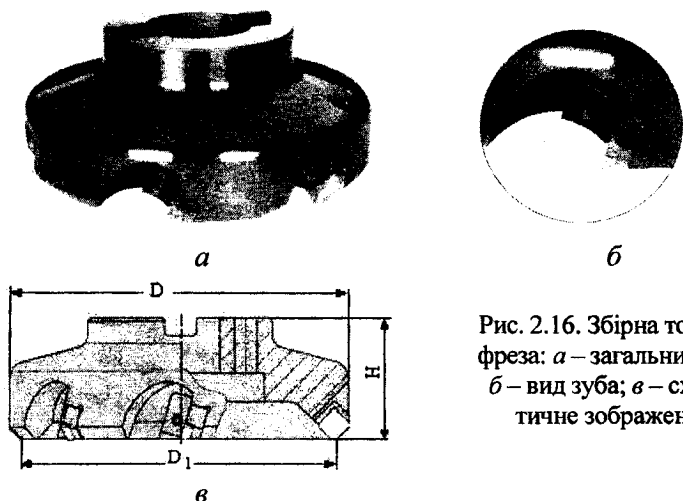


Рис. 2.16. Збірна торцева фреза: а – загальний вид; б – вид зуба; в – схематичне зображення

У порівнянні з циліндричними фрезами вони мають значно більшу поверхню контакту з оброблюваною поверхнею. Для обробки конструкційних сталей застосовуються фрези з відношенням кількості зубів  $z$  до діаметра  $D$   $0,05...0,10$ , а при обробці чавунів –  $0,08...0,20$ . Рівномірність симетричного фрезерування торцевими фрезами забезпечується, якщо глибина фрезерування  $t \geq D \sin(360/z)$ . При  $t = (0,6...0,7)D$  кількість зубів фрези  $z = 8...10$ .

За даними деяких досліджень, кількість зубів торцевих фрез повинна вибиратися з умови, щоб на 1000 мм довжини кола зовнішнього діаметра фрези було розташовано не менше 12 зубів із нерівномірним кутовим кроком.

Для зняття великих припусків застосовуються схеми з дво- і триступінчастим розташуванням ножів. Ножі кожного ступеня розміщуються на визначеному діаметрі, відмінному від діаметра, на якому розташовані ножі іншого ступеня. Для чистових робіт застосовуються фрези з ножами, які мають зачищувальні кромки;

для зачищення може використовуватись один ніж із  $\varphi_1 = 0^\circ$  і довжиною зачищувальної кромки більше величини подачі  $S$ .

Фрези, оснащені синтетичними НТМ, випускаються трьох видів: 1) торцеві насадні, оснащені напаяними державками; 2) торцеві (рис. 2.17), оснащені вставками з композиційних надтвердих матеріалів, які механічно закріплюються в робочій частині інструмента; 3) кінцеві, оснащені напаяними різальними елементами або блоком із напаяними елементами, який механічно закріплюється в робочій частині інструмента (рис. 2.18).



Рис. 2.17. Фрези торцеві кінцеві, оснащені вставками з НТМ, які механічно закріплюються в робочій частині інструмента: *а* – з різальними пластинами; *б* – з блоками різальних елементів, які механічно закріплюються в робочій частині інструменту; *в* – блок із двома різальними пластинами

При обробці поверхонь складної геометрії використовуються фрези з фасонним профілем і комплекти фрез, які дозволяють проводити обробку за один прохід (рис. 2.19).

Конструкції більшості збірних фрез побудовані за модульним принципом. Так, наприклад, кінцеві фрези, оснащені металокерамічними або мінералокерамічними пластинами з механічним кріпленням, виготовляються у вигляді конуса з хвостовиком під патрон або з конусом Морзе. Для нових конструкцій фрез характерним є подальше удосконалення принципу збірності, суть якого полягає у використанні проміжних елементів (касет, вставок) між корпусом інструмента і різальними пластинами. Такі конструктив-

ні особливості дозволяють розширити номенклатуру інструмента, створеного з уніфікованих елементів. При цьому задаються оптимальні геометричні параметри різальної частини пластини за рахунок її установки у проміжних елементах під визначеними кутами відносно корпусу модуля.

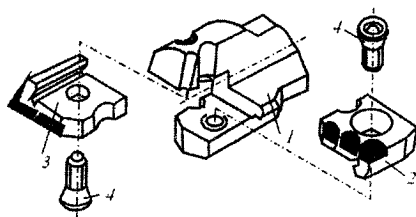
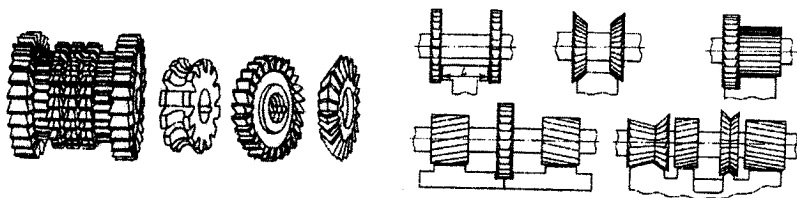


Рис. 2.18. Кінцеві фрези, оснащені різальними елементами з ПНТМ з механічним кріпленням напайних вставок: 1 – корпус; 2, 3 – ножі; 4 – гвинти



*a*

*b*

Рис. 2.19. Фрези для обробки складних поверхонь: *a* – фасонні фрези; *b* – комплекти фрез

**Свердла** – один із найпоширеніших видів інструмента для металообробки (рис. 2.20). Свердла використовують для утворення отворів у суцільному матеріалі або розсвердлювання попередньо підготовленого отвору. Їх основними конструктивними елементами є робоча частина і корпус з елементами кріплення.

Свердла бувають цільні, паяні та з механічним кріпленням різальних елементів. Матеріал різальної частини спіральних сверدل – сталь марки 9ХС, швидкорізальні сталі, тверді сплави групи ВК. Матеріал робочої (різальної) частини паяних сверدل – тверді сплави групи ВК.

Свердла зі швидкорізальних сталей діаметром  $> 8$  мм із циліндричним хвостовиком і  $> 6$  мм із конічним хвостовиком виготовляються зварними з хвостовою частиною з вуглецевих сталей.



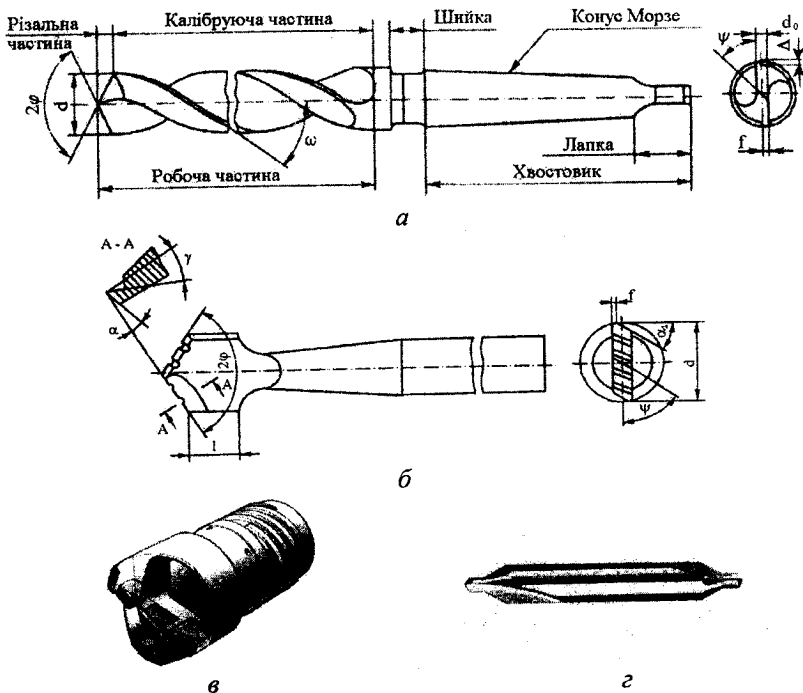


Рис. 2.20. Свердла: спіральне (а), перове (б), ежекторне (в), центрувальне (г)

Твердість робочої частини свердл зі швидкорізальних сталей діаметром до 5 мм повинна знаходитись в межах 62...64 HRC, свердл діаметром понад 5 мм – 62...65 HRC. Робоча частина свердл із кобальтових і ванадієвих швидкорізальних сталей повинна мати твердість на одну-дві одиниці вищу, а свердл із робочою частиною зі сталі 9ХС – нижчу за твердість свердл із звичайних швидкорізальних сталей.

Корпус свердл, оснащених пластинами з твердих сплавів, виконується зі сталей марок Р9, 9ХС, 40Х, 45Х.

Підвищення якості обробки та продуктивності свердління може бути досягнуте за рахунок застосування свердл із внутрішніми каналами для підведення змащувально-охолоджувальних технологічних середовищ у зону різання (рис. 2.21).

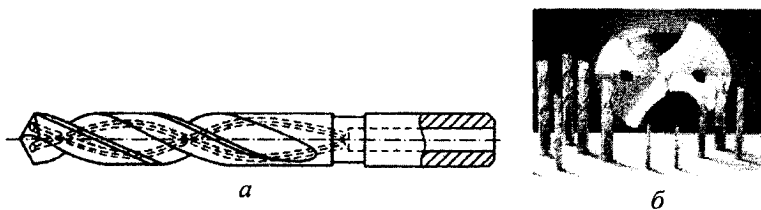


Рис. 2.21. Свердла з внутрішніми каналами для подачі ЗОТС:  
*а* – схематичне зображення; *б* – фотографія свердла

Отвори можуть бути отримані як свердлінням, так і трепанцією. У першому випадку, у вигляді стружки, видаляється весь обсяг матеріалу в отворі, у другому – тільки по периферії отвору, а матеріал центральної частини видаляється у вигляді керна.

Свердління глибоких отворів (понад  $10d$ ) доцільно проводити спеціальними свердлами – гарматними, ежекторними, типу STS (рис. 2.22). Друга і третя схеми відрізняються конструкцією різального інструмента. Ежекторні свердла мають підтримуючу систему як зовні, так і всередині інструмента, а свердла STS – тільки зовнішню підтримуючу систему.

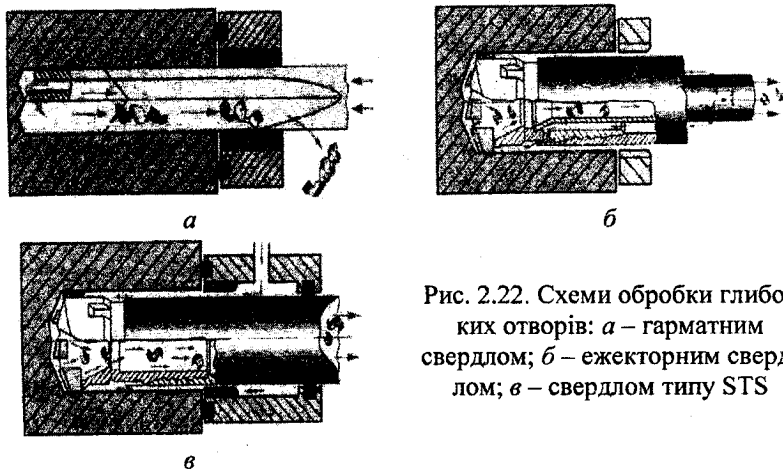


Рис. 2.22. Схеми обробки глибоких отворів: *а* – гарматним свердлом; *б* – ежекторним свердлом; *в* – свердлом типу STS

Гарматні свердла мають корпус зі сталей марок 40Х, 9ХС, 35ХГСА і впаєні пластини твердого сплаву – одну різальну та

дві напрямні. Напрямні пластини виготовляються, як правило, зі сплавів групи ТК, матеріал різальних пластин вибирається в залежності від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу. Гарматні свердла можуть також виготовлятися з цільною твердосплавною робочою частиною, що припаюється до сталевого корпусу.

Комбіновані центрувальні свердла використовуються для комбінованої обробки (свердління та зенкерування) центрувальних отворів. Кожен тип таких сверدل призначений для утворення центрувального отвору відповідних форми і розмірів.

Для обробки загартованих сталей твердістю до 50 HRC застосовуються цільні твердосплавні свердла. Вони випускаються у двох виконаннях – монолітні (діаметр 3...15 мм, довжина 48...62 мм, довжина робочої частини 16...20 мм) і з цільною твердосплавною робочою частиною, яка припаяна до хвостовика (діаметр 4,8...12,0 мм, довжина 70...120 мм, довжина робочої частини 20...35 мм). Кут нахилу канавок у таких свердлах, як правило, дорівнює нулю. Спеціальні свердла, розроблені для обробки високомарганцевих сталей, відрізняються особливим заточуванням, наприклад, зсувом поперечної кромки відносно вісі свердла.

Свердла, в яких твердосплавні пластини механічно закріплюються у робочій частині (рис. 2.23), дозволяють продуктивно (подача до 3-х разів вища у порівнянні зі звичайними інструментами) обробляти отвори діаметром понад 18 мм. Різальна частина містить дві пластини, одна з яких зрізує метал поблизу центра отвору, а друга – на його периферійних ділянках. При необхідності свердла виготовляються з внутрішніми отворами для підведення ЗОТС у зону різання.

Крім свердел до осьового інструмента відносяться зенкери і розвертки (рис. 2.24, 2.25).

**Зенкер** – багатолезовий різальний інструмент, призначений для попередньої або остаточної обробки отворів. **Розвертка** – багатолезовий інструмент, призначений для попередньої або остаточної обробки циліндричних і конічних отворів до 6...11 квалітетів точності із шорсткістю  $Rz$  6,3...10,0 мкм.

Зенкери (рис. 2.24) і розвертки (2.25) випускаються цільними, паяними і з механічним кріпленням різальних елементів.



Рис. 2.23. Свердла з різальними пластинами, які механічно закріплюються в робочій частині інструменту: *a* – свердло із внутрішнім підведенням ЗОТС; *б* – комбіноване свердло

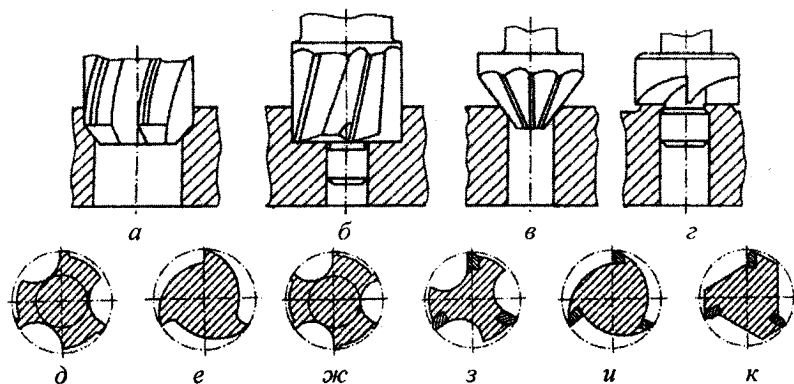


Рис. 2.24. Основні типи зенкерів (*a-г*) (*a* – циліндричний; *б-г* – зенковки) і форми їх канавок (*д-к*) (*д-и* – криволінійна; *к* – прямолінійна)

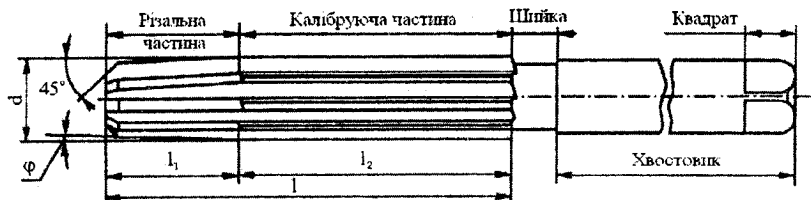


Рис. 2.25. Розвертка ручна циліндрична

Найпоширенішими видами різенарізного інструменту є мітчики, плашки і різенарізні гребінки (рис. 2.25). Вони виготов-

ляються з інструментальних (У11А, У12А) і швидкорізальних сталей або оснащуються твердими сплавами групи ВК.

Мітчики із швидкорізальної сталі діаметром > 6 мм виконуються зварними. Мітчики, оснащені твердими сплавами, поділяються на: 1) цільнотвердосплавні (діаметром до 8 мм); 2) з цільнотвердосплавною робочою частиною (діаметром 8...12 мм), яка припаяна до сталевого корпусу; 3) з робочою частиною, оснащеною твердосплавними пластинами.

Плашки виготовляються зі сталей марок 9ХС, ХВГС або із швидкорізальних сталей.

Гребінки випускаються комплектами по чотири штуки у комплекті. Складаються вони з корпусу, різальної та калібрувальної частин. Матеріалом корпусу гребінок може бути звичайна швидкорізальна сталь (для цільних гребінок), швидкорізальна сталь з підвищеним вмістом ванадію (3 %) і кобальту (5 %), тверді сплави групи ВК.

Крім відзначених різенарізних інструментів широке поширення для нарізання різі одержали різці (рис. 2.27).

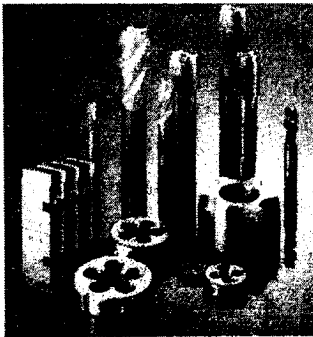
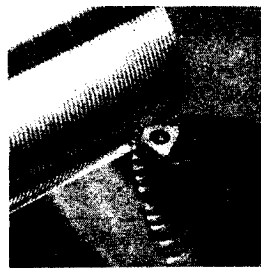
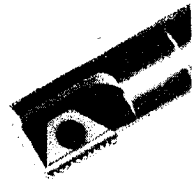


Рис. 2.26. Різенарізні інструменти



*a*



*б*

Рис. 2.27. Нарізання різі різцем із одною робочою вершиною (*a*); *б* – різець, оснащений різенарізною гребінкою

Специфічним видом різенарізного інструмента є різенарізні головки (рис. 2.28) і мітчики-розкатники (рис. 2.29), які формують різевий профіль методом пластичного деформування. Мітчики-розкатники можуть бути цільними і збірними.

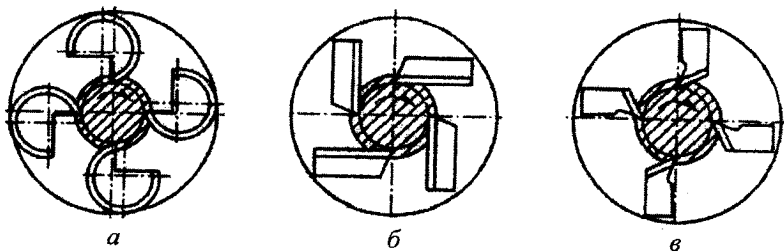


Рис. 2.28. Типи різенарізних головок: *а* – з коловими гребінками; *б* – з тангенційними плашками; *в* – з радіальними плашками

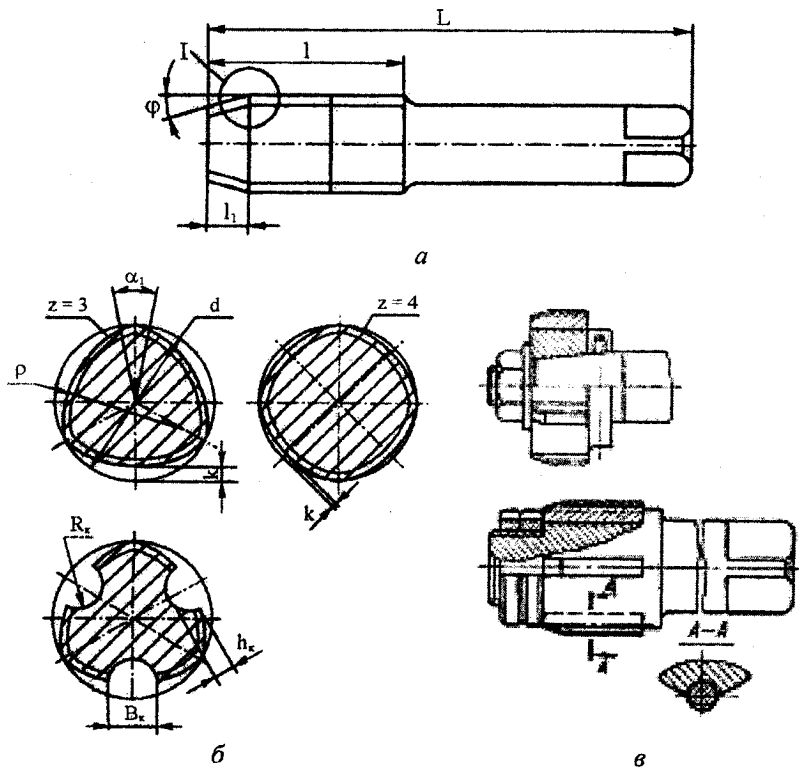


Рис. 2.29. Мітчики-розкатники: *а* – конструкція; *б* – профілі поперечного перетину інструменту; *в* – збірний розкатник

## 2.4. Застосування змащувально-охолоджувальних технологічних середовищ (ЗОТС)

Застосування ЗОТС дозволяє значно зменшити знос інструмента, підвищити якість обробленої поверхні і знизити витрати енергії на різання. Застосування ЗОТС перешкоджає утворенню наросту на різальній кромці та сприяє видаленню стружки і абразивних часток із зони різання.

Слід зазначити, що при обробці чавунів та інших крихких матеріалів ефективність застосування ЗОТС значно нижча, ніж при обробці сталей.

ЗОТС бувають рідкими, газоподібними і твердими. Найбільш розповсюдженими є рідкі середовища. При роботі твердосплавним інструментом на високих швидкостях необхідно подавати в зону різання безперервний струмінь рідини. При перервному охолодженні може відбутися утворення тріщин у пластинах твердого сплаву і тоді інструмент швидко вийде з ладу.

Використання змащувально-охолоджувальних рідин є найбільш ефективне при різанні в'язких і високопластичних матеріалів, що мають схильність до деформаційного зміцнення у процесі обробки. Зі збільшенням глибини різання ефективність застосування ЗОТС зменшується для всіх груп оброблюваних матеріалів.

ЗОТС повинні забезпечувати високу охолоджувальну та змащувально-різальну здатність, антикорозійність і нешкідливість для працюючих. Усі ЗОТС можна розбити на дві основні групи – охолоджувальні та змащувальні.

До першої групи відносять водні розчини та емульсії з великою теплоємністю і теплопровідністю. Широко поширені водні емульсії, які містять 2...20 % мастила і 0,3...2,0 % мила з поверхнево-активними речовинами. Водні емульсії застосовують при обдирних роботах, коли шорсткість поверхні не має особливого значення.

До рідин другої групи відносять мінеральні масла із вмістом поверхнево-активних речовин. Рідини цієї групи застосовують при чистовій обробці.

У промисловості використовують сульфовані масла (сульфофрезоли), змащувальна здатність яких підвищується за рахунок вмісту в них сірки.

### **3. ОБРОБКА ІНСТРУМЕНТАМИ, ОСНАЩЕНИМИ ШВИДКОРІЗАЛЬНИМИ СТАЛЯМИ, ТВЕРДИМИ СПЛАВАМИ ТА МІНЕРАЛОКЕРАМІКОЮ**

#### **3.1. Точіння зовнішніх циліндричних поверхонь**

Для зовнішнього поздовжнього чорнового та чистового обточування застосовують прохідні різці. Різці класифікують: за напрямком подачі – на праві та ліві (праві різці на токарному верстаті переміщуються справа наліво – до передньої бабки верстата); за конструкцією головки – на прямі, відігнуті і відтягнуті; за родом матеріалу – із швидкорізальної сталі, твердого сплаву тощо; за способом виготовлення – на цільні та збірні; за перетином стрижня – на прямокутні, круглі і квадратні; за видом обробки – на прохідні, підрізні, відрізні, прорізні, розточувальні, фасонні та ін. Найбільш поширеними є цільні різці із швидкорізальних сталей та збірні різці з пластинами з твердого сплаву. Твердосплавні пластини припаюють або механічно кріплять до державки.

Прямі прохідні твердосплавні різці виготовляються з головними кутами у плані 45, 60 і 75°. Відігнуті прохідні твердосплавні різці виготовляються, в основному, з головним кутом у плані 45°. Їх широко застосовують, бо ними можна виконувати як поздовжнє, так і поперечне обточування. Прокідні упорні твердосплавні різці виготовляються з головним кутом у плані  $\phi = 90^\circ$ . Вони придатні для обробки деталей з уступами невеликих розмірів і використовуються при обробці нежорстких деталей.

При одній і тій же глибині різання  $t$  і подачі  $S$  форма поперечного перетину зрізаного шару матеріалу залежить від кута  $\phi$  нахилу різальної кромки інструмента до напрямку переміщення (подачі) інструмента при обробці. Площа поперечного перетину зрізаного шару визначається як  $F = ab$ , де  $a$  – товщина шару по нормалі до поверхні різання або до кро-



мки інструмента, мм;  $b$  – ширина шару по поверхні різання між оброблюваною та обробленою поверхнями вздовж різальної кромки інструмента.

Головний кут у плані  $\phi$  впливає на стійкість різця і допустиму швидкість різання. Загалом, чим менший головний кут  $\phi$ , тим вища стійкість різця і максимально допустима швидкість різання. Однак, слід враховувати, що при малих значеннях кута  $\phi$  збільшується навантаження на різець і при недостатній жорсткості системи «верстат–інструмент–деталь» при обробці можуть виникнути сильні вібрації. У цьому випадку необхідно збільшити значення кута  $\phi$ . При достатньо високій жорсткості системи «верстат–інструмент–деталь» головний кут у плані вибирається рівним  $45^\circ$ , при малій жорсткості –  $90^\circ$ , а при проміжних значеннях жорсткості –  $60\dots75^\circ$ .

Допоміжний кут у плані  $\phi_1$  змінює участь допоміжної різальної кромки у процесі різання, впливає на допустиму швидкість різання і шорсткість обробленої поверхні. При чорновій обробці кут  $\phi_1$  у прохідних різців вибирають у межах  $10\dots15^\circ$ .

Радіус вершини різця  $R$  впливає на міцність різальної кромки і стійкість різця. Його збільшення знижує шорсткість обробленої поверхні, але викликає збільшення навантаження на різець і може призвести до виникнення вібрацій. Для прохідних різців із пластинами з твердих сплавів рекомендуються наступні значення радіуса при вершині різця:  $R = 0,5$  мм при перетині державки  $10 \times 16$  мм і  $12 \times 20$  мм;  $R = 1,0$  мм при  $16 \times 25$  мм і  $20 \times 32$  мм;  $R = 1,5$  мм при  $25 \times 40$  мм і  $30 \times 45$  мм.

Форму заточування передньої поверхні різців встановлюють у залежності від оброблюваного матеріалу, характеру обробки, подачі та інших умов (рис. 3.1).

Форма головки різця з плоскою передньою поверхнею і позитивним переднім кутом  $\gamma$  рекомендується при обробці сірих чавунів, бронз та інших крихких матеріалів, а також при тонкому і чистовому точінні з подачами до  $0,2$  мм/об. Для забезпечення заточування і доведення різця по передній поверхні кут  $\gamma$  доцільно робити не на всій довжині передньої поверхні пластини, а на фасці шириною  $f = 3\dots4$  мм.

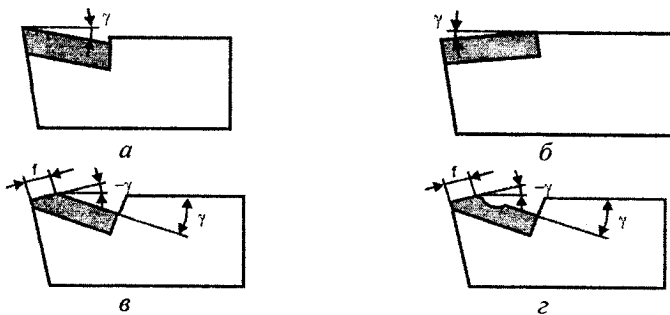


Рис. 3.1. Форми заточування передньої поверхні різців: *а* – плоска з позитивним переднім кутом; *б* – плоска з негативним переднім кутом; *в* – плоска з фаскою; *г* – радіусна з фаскою

Передній кут твердосплавних різців вибирають у межах  $10^\circ < \gamma < 15^\circ$ . Причому, значення кута зменшується зі збільшенням міцності матеріалу заготовки.

Для зміцнення найбільш навантаженої ділянки різця вздовж різальної кромки знімають фаску шириною від 0,2 до 1,2 мм з негативним кутом нахилу до  $(-5)^\circ$ . Ширина фаски залежить від глибини різання. Таку форму передньої поверхні різця називають плоскою з фаскою і застосовують при обробці сталей, ковких і високоміцних чавунів. При різанні сталей цими різцями (особливо, при високих швидкостях різання) утворюється велика кількість малозавитої, небезпечної та незручної для видалення стружки. Крім того, така стружка намотується на заготовку та інструмент і становить небезпеку для робітника. Для завивання стружки передню поверхню різця роблять з округленням радіусом  $r = 3 \dots 18$  мм і шириною 2,5...15,0 мм. Причому, менші значення  $r$  використовують при обробці сталей меншої міцності ( $\sigma_b < 1000$  МПа). Таку форму заточування називають радіусною з фаскою.

При обробці різцями більш міцних сталей ( $\sigma_b > 1000$  МПа) у важких умовах доцільно застосовувати різці з плоскою формою передньої поверхні з негативним переднім кутом у межах  $(-5^\circ) \dots (-10^\circ)$ .

Зі збільшенням значення переднього кута  $\gamma$  поліпшується сходження стружки, але зменшується кут загострення  $\beta$ , що зни-

жує міцність різця. При обробці м'яких сталей  $\gamma = 8...20^\circ$ , а при різанні дуже твердих і жароміцних сталей величина переднього кута складає  $(-5^\circ)...(-10^\circ)$ .

Кут нахилу головної різальної кромки впливає на напрямок сходження стружки. Коли вершина різця є самою низькою точкою різальної кромки ( $\lambda > 0$ ), стружка сходить вправо; коли різальна кромка паралельна основній площині ( $\lambda = 0$ ), стружка сходить у напрямку, перпендикулярному головній різальній кромці; коли вершина різця є найвищою точкою різальної кромки ( $\lambda < 0$ ), стружка сходить вліво.

Позитивне значення кута  $\lambda$  робить головку різця більш масивною і стійкою, тому при чорновому обточуванні, коли якість обробленої поверхні не має особливого значення, рекомендується застосовувати позитивні значення кута  $\lambda$  (до  $5^\circ$ )

Задній кут  $\alpha$  необхідний, щоб знизити тертя між задньою поверхнею різця та поверхнею різання. Зі збільшенням заднього кута зменшується кут загострення і, відповідно, міцність різця. Для твердосплавних різців залежно від міцності оброблюваного матеріалу задній кут вибирають у межах від 6 до  $12^\circ$ .

При токарній обробці зовнішніх поверхонь значення кутів  $\alpha$  і  $\gamma$  можуть змінюватися в залежності від положення різальної кромки відносно вісі заготовки.

Якщо різець встановлений по вісі заготовки, значення кутів  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  та куту різання  $\delta$  відповідають значенням, отриманим при заточуванні. При установці того ж різця вище вісі оброблюваної деталі передній кут  $\gamma$  збільшується, а кути  $\delta$  та  $\alpha$  зменшуються. В цьому випадку поліпшуються умови різання, стружка легше сходить по передній поверхні, але при незначному переважанні різець відгинається вниз і втискується у матеріал деталі, що може призвести до руйнування різальної кромки або різця.

Якщо різець встановлений таким чином, що різальна кромка розташована нижче вісі оброблюваної деталі, передній кут  $\gamma$  зменшується, а задній кут  $\alpha$  і кут різання  $\delta$  збільшуються. Тому умови різання істотно погіршуються. Різець відгинається, але вершина його різальної кромки не втискується у матеріал деталі, а відходить від оброблюваної поверхні. При чорновому точінні різальну кромку різця рекомендується встановлювати на лінії

вісі деталі або трохи вище неї (не більш ніж на 0,01 діаметра оброблюваної поверхні).

Прохідні твердосплавні різці для чорнової і напівчистової обробки з великими подачами можуть виготовлятися з додатковою різальною кромкою. Такі різці мають головну різальну кромку з головним кутом у плані  $\varphi = 45^\circ$  і додаткову різальну кромку з кутом у плані  $\varphi_0 = 0^\circ$  на довжині 1,2...1,8 від значення подачі. Це зменшує шорсткість обробленої поверхні. Для запобігання сколювання вершини різця виконується перехідна кромка  $f_0$  довжиною близько 1 мм із кутом нахилу  $20^\circ$  до вісі оброблюваної деталі. Для подрібнення стружки на передній поверхні різця під кутом  $15...20^\circ$  до головної різальної кромки вишліфовується канавка шириною 8...10 мм і глибиною 1,0...1,5 мм. Кути різця:  $\gamma = 5^\circ$ ,  $\alpha = 6^\circ$ ,  $\alpha_1 = 3...5^\circ$ ,  $\lambda = 0...4^\circ$ . Робота різцями цього типу пов'язана з великими навантаженнями. Це потрібно враховувати при недостатній жорсткості конструкції верстата і міцності кріплення інструмента.

Прохідні різці збірної конструкції забезпечують низку істотних переваг у порівнянні з різцями з напаяними твердосплавними пластинами: скорочення витрат, пов'язаних з переточуванням, і допоміжного часу на зміну та підналагодження різців, а також зменшення витрат твердого сплаву. Задній кут утворюється нахилом опорної поверхні твердосплавної пластини. Позитивний кут  $\gamma$  утворюється при виготовленні пластини з поглибленням вздовж різальних кромки. Кут  $\varphi$ , який дорівнює  $45, 60, 75$  і  $90^\circ$ , утворюється підбором форми багатограних непереточуваних пластин.

Різці з мінералокерамічними пластинами застосовуються для чистої і напівчистої обробки незагартованих сталей, чавунів, кольорових металів і їхніх сплавів, а також неметалевих матеріалів. Мінералокерамічні пластини мають низьку теплопровідність і схильні до утворення тріщин при швидкому нагріванні та, особливо, при швидкому охолодженні. Тому при їх інтенсивній експлуатації слід обов'язково передбачати подачу в зону різання ЗОТС.

Виліт механічно закріплених пластин не повинен перевищувати 1 мм.

Кріплення різальної пластини здійснюється прихвatom зверху за допомогою диференційного гвинта з головкою під ше-

стигранний або квадратний ключі. Різальна пластина з твердого сплаву та допоміжна пластина кріпляться гвинтом.

Керамічні пластини випускаються тригранної, квадратної, ромбічної та круглої форм. Пластини тригранної (трикутної) форми використовуються для попередньої чистової обробки при поздовжньому точінні, підрізанні торців і уступів.

Найбільш поширені непереточувані пластини квадратної форми. Кут загострення, рівний  $90^\circ$  (при негативному передньому куті), і товщина пластини – 7,94 мм, забезпечують їй високу стійкість. Тому такі пластини частіше застосовуються для напівчистової обробки. Аналогічні пластини товщиною 3,87 мм призначені для чистової обробки.

Пластини у вигляді ромба з кутом  $75$  або  $80^\circ$  застосовуються, в основному, для напівчистової обробки, з кутом  $55^\circ$  – для обробки по копіру при поздовжньому точінні і підрізанні торців. Круглі пластини найчастіше використовуються для точіння гладких поверхонь без уступів.

При обробці різцями, оснащеними керамікою, особлива увага приділяється стружколаманню та видаленню стружки із зони різання. Це забезпечується регулюванням вильоту накладного стружколома відносно різальної кромки пластини і його установкою під кутом  $30...35^\circ$  відносно різальної кромки.

Як відомо, до елементів режиму різання відносять глибину різання, подачу та швидкість різання.

Глибина різання обмежується, в основному, припуском на обробку. Найкращим варіантом є зняття всього технологічного припуску за один прохід. Але, оскільки збільшення глибини різання призводить до зростання сили різання, припуск знімається за кілька проходів. Сумарний припуск розподіляється в такий спосіб:  $60\%$  – на чорнову обробку,  $20...30\%$  – на напівчистову і  $10...20\%$  – на чистову і тонку. Глибина різання для чорнкової обробки може перевищувати  $3...5$  мм, для напівчистової обробки вона складає  $2...3$  мм, для чистової –  $0,5...1,0$  мм, для тонкої –  $0,05...0,20$  мм.

Подача обмежується силами, які діють у процесі різання, та вимогами до шорсткості обробленої поверхні. Великі сили різання можуть призвести до поломки інструмента і деформації деталі. Однак, доцільно працювати з максимально можливою

подачею. Її вибирають з урахуванням інших параметрів режиму різання з таблиць довідників, складених на основі спеціальних досліджень і узагальнення досвіду роботи промислових підприємств. Після вибору подачі її коректують відповідно до кінематичних даних верстата (вибирається найближча менша подача). Для чорнової обробки  $S = 0,3...1,5$  мм/об, для чистової –  $0,05...0,40$  мм/об.

При однаковій площі поперечного перетину зрізуваного шару навантаження на різець менше при роботі з меншою подачею та більшою глибиною різання, а навантаження на верстат, навпаки, менше при роботі з більшою подачею і меншою глибиною різання, тому що на силу різання глибина впливає сильніше, ніж подача.

Швидкість різання залежить від конкретних умов обробки, які впливають на стійкість інструмента. Чим більшу швидкість різання допускає інструмент при одній і тій же стійкості, тим вищі його різальні властивості.

На максимально допустиму швидкість різання впливають наступні фактори: стійкість інструмента, фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу, подача і глибина різання, геометричні параметри різальної частини інструмента, розміри перетину державки, тип ЗОТС, максимально припустимий знос інструмента.

Стійкість різців із швидкорізальних сталей зменшується зі збільшенням швидкості різання. Раціональна швидкість різання для цих різців складає  $20...50$  м/хв.

Стійкість різців, оснащених пластинами з твердих сплавів, знаходиться в більш складній залежності від швидкості різання. Раціональна швидкість різання для цих різців при обробці конячтрукційних сталей складає  $80...140$  м/хв при стійкості  $T = 30...60$  хв. Допустима швидкість різання зменшується зі збільшенням вмісту в сталі легуючих елементів – хрому, вольфраму, марганцю, кремнію.

Взагалі, швидкість різання зменшується зі збільшенням опору оброблюваного матеріалу різанню, що призводить до збільшення складових сили різання, температури в зоні різання та інтенсивності зношування інструмента.

На максимальних швидкостях різання обробляються автоматні сталі, кольорові та легкі метали. Швидкість різання при

обробці алюмінію у 5...6 разів більша, ніж при обробці середньовуглецевої конструкційної сталі.

Подача та глибина різання визначають навантаження на різець і температуру різання. Зі збільшенням подачі та глибини різання збільшується інтенсивність зношування різця, що обмежує швидкість різання. Для підвищення продуктивності різання доцільно працювати з великим перетином шару зрізаного матеріалу за рахунок зменшення швидкості різання. Наприклад, при збільшенні подачі у 2 рази (з 0,3 до 0,6 мм/об) швидкість різання необхідно зменшити на 20...25 %. При подвоєнні глибини різання швидкість різання повинна бути зменшена на 10...15 %.

Однією із сучасних тенденцій розвитку процесів механічної обробки є високопродуктивне різання. Для нього характерним є значне збільшення перетину зрізаного шару матеріалу при незначному зниженні швидкості різання.

Величини швидкості різання і стійкості інструмента пов'язані з правильним вибором геометрії різальної частини. При цьому необхідно враховувати оброблюваність заготовки, різальні властивості інструментального матеріалу та інші умови обробки.

Чим більша площа перетину державки різця зі швидкорізальної сталі, тим більші швидкості різання він дозволяє: при збільшенні площі перетину державки поліпшуються умови відведення тепла із зони різання і підвищується жорсткість різця. Для різців, оснащених пластинами з твердих сплавів, вплив перетину державки на умови відведення тепла із зони різання незначний.

При чорновому точінні сталей швидкорізальними різцями інтенсивне охолодження ЗОТС (8...12 л/хв) підвищує допустиму швидкість різання на 20...30 %, а при чистовому точінні при витратах ЗОТС 4...6 л/хв – на 8...10 %. Для твердосплавного інструмента з метою запобігання утворенню тріщин у пластинах необхідно забезпечити постійну наявність ЗОТС у зоні різання.

Збільшення допустимого зносу різців по задній поверхні від 0,8 до 1,6 мм дозволяє підвищити швидкість різання на 30 %.

Орієнтовні значення швидкості різання при обробці різних конструкційних матеріалів приведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1  
Швидкості різання при зовнішньому точінні

Матеріал різця	Оброблюваний метал	Швидкість різання, м/хв	
		чорнова обробка	чистова обробка
Швидкорізальна сталь Р9, Р12, Р18	Сталь	20...30	35...45
Твердий сплав ВК8	Чавун	60...70	80...100
Твердий сплав Т15К6	Сталь	100...140	150...200

Пластини з мінералокераміки ВЗ, ВОК-60, ВОК-63, ВОК-71, ВОК-95М(С), силініт-Р, ОНТ-20 застосовуються для чистової і напівчистової обробки сірих, ковких і відбілених чавунів, важкооброблюваних сталей, деяких марок кольорових металів і сплавів, синтетичних матеріалів. Підвищена стійкість мінералокераміки при високих температурах у зоні різання (950...1100 °С) дозволяє вести обробку без застосування ЗОТС і з високими швидкостями різання (табл. 3.2). У той же час, пластини з мінералокераміки мають менші міцність на згин і ударну в'язкість у порівнянні з пластинами з твердих сплавів, що суттєво звужує діапазон допустимих подач.

Для процесів високошвидкісного точіння застосовуються інструменти з наступних матеріалів: гарячепресована віскерізована кераміка, що містить оксид алюмінію та волокна карбїду кремнію (обробка високотемпературних матеріалів на нікелевій і кобальтовій основах, відбілених чавунів з ливарною кіркою, легованих сірих чавунів); ПНТМ на основі алмазу (обробка кольорових металів) і КНБ (обробка сірих і легованих чавунів, жароміцних сплавів).

Режими різання для токарних різців із пластинами з віскерізованої кераміки: леговані сірі чавуни –  $v = 400...800$  м/хв;  $S = 0,2...0,5$  мм/об;  $t = 0,1...4,0$  мм; високотемпературні сплави –  $v = 100...400$  м/хв;  $S = 0,05...0,40$  мм/об;  $t = 0,5...2,0$  мм; відбілений чавун –  $v = 50...200$  м/хв;  $S = 0,05...0,30$  мм/об;  $t = 0,3...$



2,0 мм. Режими різання для токарних різців із пластинами з ПНТМ: сірий перлітний чавун –  $v = 700...1200$  мм/об;  $S = 0,1...0,8$  мм/об;  $t = 0,2...5,0$  мм; високотемпературні сплави –  $v = 80...200$  мм/об;  $S = 0,05...0,20$  мм/об;  $t = 0,1...1,0$  мм; загартована сталь і відбілений чавун –  $v = 80...250$  м/хв;  $S = 0,05...0,25$  мм/об;  $t = 0,05...0,50$  мм; кольорові метали –  $v = 800...1500$  м/хв;  $S = 0,2...0,6$  мм/об;  $t = 0,2...2,0$  мм.

Таблиця 3.2

Орієнтовні значення режимів обробки різцями з віскерізованої мінералокераміки конструкційних матеріалів без застосування ЗОТС

Оброблюваний матеріал	Режим різання		
	$v$ , м/хв	$S$ , мм/об	$t$ , мм
Сірий чавун (170...240 HB)	150...600	0,1...0,6	0,1...4,0
Відбілений чавун (54...60 HRC)	50...150	0,10...0,35	0,3...2,0
Ковкий чавун (163...269 HB)	200...850	0,15...0,40	0,1...2,0
Термооброблені сталі (49...63 HRC)	70...200	0,08...0,30	0,1...0,5
Термооброблені сталі (32...45 HRC)	150...300	0,10...0,35	0,1...1,5
Конструкційні та низьковуглецеві сталі ( $\sigma_s = 500$ МПа)	250...500	0,2...0,5	0,5...5,0
Мідь і її сплави	400...700	0,2...0,5	2,0...5,0

### 3.2. Розточування

Отвори з нерівномірним припуском по довжині, конічні отвори і отвори складної нециліндричної геометрії, які не можна обробити зенкером або свердлом, розточують на токарних верстатах різцями. У розточувальних токарних стрижневих різців консольна частина виконана круглою, а державка, що служить для кріплення різця – квадратною (12 x 12, 16 x 16, 20 x 20, 25 x 25 мм). Найменший діаметр отвору, який можна обробити такими різцями дорівнює 30...65 мм.

Матеріал, форма передньої поверхні і геометричні параметри розточувальних різців, за винятком величини заднього

кута, такі ж самі, як і у прохідних різцях для точіння. Для обробки отворів діаметром більше 500 мм використовуються різці з заднім кутом  $\alpha \leq 12^\circ$ , для обробки отворів менших діаметрів – різці з заднім кутом  $\alpha > 12^\circ$ .

Значення кутів можуть змінюватися в залежності від розташування розточувального різця відносно поздовжньої вісі деталі. При установці різця нижче осьової лінії передній кут  $\gamma$  збільшується і це полегшує сходження стружки з різця, що важливо при чорновому точінні. Однак, при значному заниженні різальної кромки різця відносно поздовжньої вісі, необхідно збільшувати задній кут. При цьому зменшується кут загострення  $\beta$ , знижується міцність різця і погіршується тепловідведення з зони різання.

При установці різця вище лінії поздовжньої вісі він буде віджиматися під дією стружки. При цьому розмір отвору буде менший заданого, але його можна довести до потрібного значення наступними робочими ходами. Тому при чистовому розточуванні різальну кромку різця встановлюють вище центральної вісі на 0,01...0,03 діаметра отвору. При установці різця нижче центральної вісі він також віджиматися, але при цьому може змінитися форма отвору і збільшитися його діаметр.

При розточуванні різець знаходиться у більш важких умовах, ніж при зовнішньому поздовжньому точінні, тому що ускладненим є відведення стружки і тепла з зони різання. Ускладнюється також і підведення ЗОТС.

Розточувальний різець має менший перетин державки і більший виліт, що викликає його віджим і сприяє виникненню вібрацій, тому при розточуванні зменшують глибину і швидкість різання у порівнянні з точінням зовнішніх поверхонь.

Глибина різання для чорнового розточування сталі може перевищувати 3 мм при поздовжній подачі до 1,0 мм; швидкість різання для швидкорізальних різців становить 25 м/хв, для твердосплавних – 50...100 м/хв.

При чистовому розточуванні сталі глибина різання не перевищує 1 мм, а поздовжня подача – 0,05...0,20 мм/об. Швидкість різання різцями із швидкорізальних сталей становить 40...80 м/хв, твердосплавними різцями – 150...200 м/хв.

### 3.3. Обробка торцевих поверхонь

Торці та уступи обробляються підрізними або прохідними відігнутими різцями (рис. 3.2).

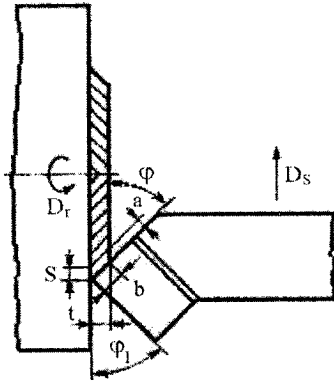


Рис. 3.2. Схема обробки торцевої поверхні

Підрізний торцевий різець призначений для обробки зовнішніх торцевих поверхонь. При підрізанні торця подача різця здійснюється перпендикулярно осі оброблюваної деталі.

Підрізні різці виготовляються з різальною частиною із швидкорізальних сталей і твердих сплавів. Головний задній кут  $\alpha$  дорівнює  $10...15^\circ$ , передній кут вибирають в залежності від оброблюваного матеріалу.

Прохідним відігнутим різцем можна виконувати підрізання торця при поперечній подачі та обточування при поздовжній подачі.

Різці для підрізання торців повинні встановлюватися точно по осі деталі, інакше на торці деталі залишається виступ. При великому діаметрі торцевої поверхні припуск знімається за кілька робочих ходів. Уступи розміром більше  $2...3$  мм обробляються прохідними різцями за декілька прийомів: поздовжньою подачею різця  $S_1$  утворюють уступ, а поперечною  $S_2$  – його підрізають.

При підрізанні торців і уступів поперечна і поздовжня подачі визначаються так само, як і при обточуванні циліндричних поверхонь. Поперечна подача менша поздовжньої. Поперечна подача для чорнової обробки торців складає  $0,3...0,7$  мм/об при глибині різання  $2...5$  мм, для чистової обробки –  $0,1...0,3$  мм/об при глибині різання  $0,7...1,0$  мм.

Швидкість різання для цього виду обробки на 20 % вища, ніж для обробки циліндричних поверхонь, оскільки час різання

істотно менший і інструмент не встигає нагрітися до критичної температури.

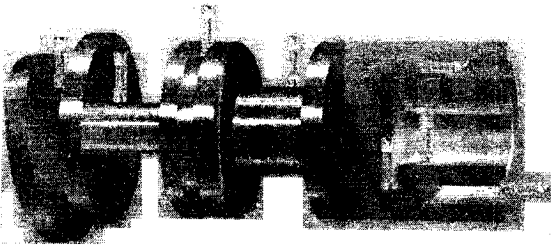


Рис. 3.3. Технологічні можливості різців системи "Cut-Grip"

На базі різних різців фірмою "IsCAR" (Ізраїль) запропонований новий тип інструмента (рис. 3.3), який дозволяє обробляти всім видів поверхонь. Основним принципом роботи такого інструмента є деформація

його робочої частини, що призводить до появи фронтального зазору під кутом  $\phi_1$  між різальною пластиною і деталлю.

### 3.4. Обробка плоских і фасонних поверхонь

У більшості практичних випадків обробка плоских і фасонних поверхонь здійснюється фрезеруванням (рис. 3.4). Фрезерування – це процес зняття металу інструментом із одним або декількома зубами, що обертаються навколо нерухомої вісі. Подача здійснюється перпендикулярно до цієї вісі. Кожен зуб фрези знімає стружку змінної товщини. Операції фрезерування можуть бути розділені на два основних типи (рис. 3.5): циліндричне і торцеве фрезерування.

**Обробка плоских поверхонь.** При циліндричному фрезеруванні різання здійснюється зубами, розташованими на периферії фрези, а оброблена поверхня є площиною, паралельною вісі обертання фрези. Для обробки плоских поверхонь можуть застосовуватися фрези з циліндричними і гвинтовими зубами (рис. 3.6).

Коли колова швидкість фрези протилежна напрямку подачі, процес фрезерування прийнято називати зустрічним (рис. 3.7). Товщина зрізаного шару змінюється від нуля до максимальної величини при виході зуба з контакту з деталлю. Термін «попутне фрезу-

рування» використовується для позначення процесу фрезерування, при якому колова швидкість фрези і швидкість подачі збігаються за напрямком. При цьому товщина зрізаного шару змінюється від максимального значення до нуля.

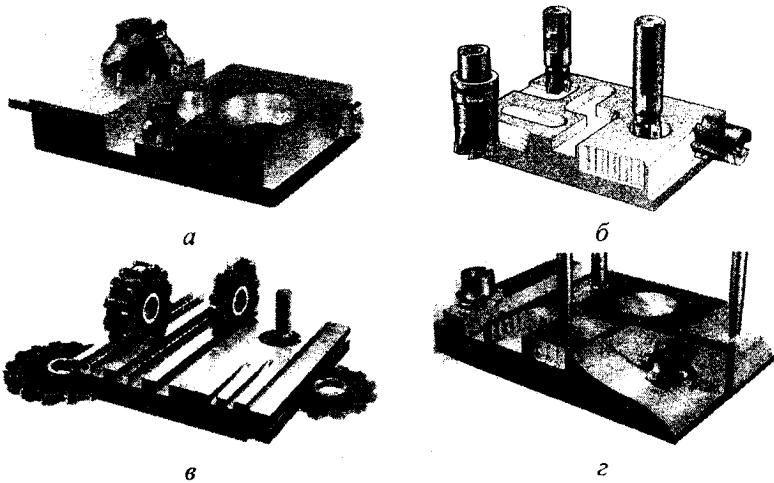


Рис. 3.4. Системи торцевих (а, г), кінцевих (б, г) і дискових (в) фрез із механічним кріпленням різальних пластин

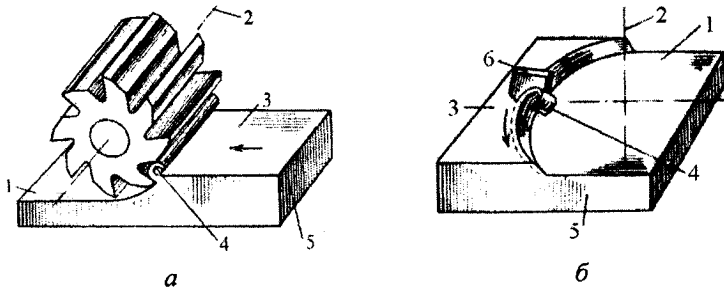


Рис. 3.5. Схеми фрезерування: а – циліндричного; б – торцевого; 1 – оброблена поверхня; 2 – вісь обертання фрези; 3 – подача; 4 – стружка; 5 – деталь; б – ніж фрези

При торцевому фрезеруванні різання здійснюється периферійними і торцевими кромками зубів. Товщина зрізаного шару

збільшується до центра зрізу і зменшується у місці входу та виходу зуба з контакту з деталлю. Початкова і кінцева товщини зрізу залежать від відношення ширини заготовки до діаметра фрези. Зміна товщини зрізу залежить також від симетричності розташування вісі фрези відносно заготовки.

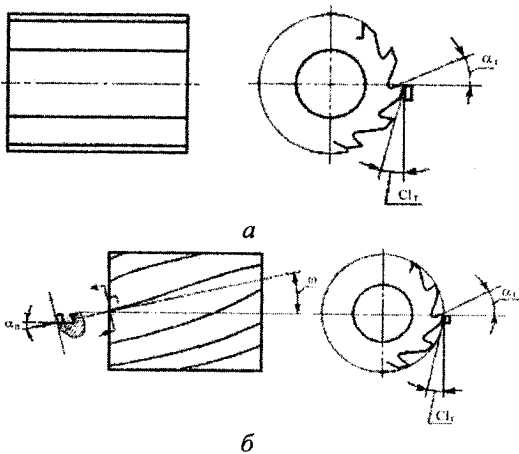


Рис. 3.6. Схема фрез з прямим (а) і гвинтовим (б) зубами

Периферійні різальні кромки можуть бути встановлені під будь-яким кутом  $\chi$  відносно вісі обертання фрези. У торцевих фрезах зі вставними ножами периферійні різальні кромки частіше встановлюються під кутами  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  і  $75^\circ$  до вісі обертання фрези. Периферійні різальні кромки називаються головними. Торцеві різальні кромки обробляють торцеву поверхню і називаються допоміжними.

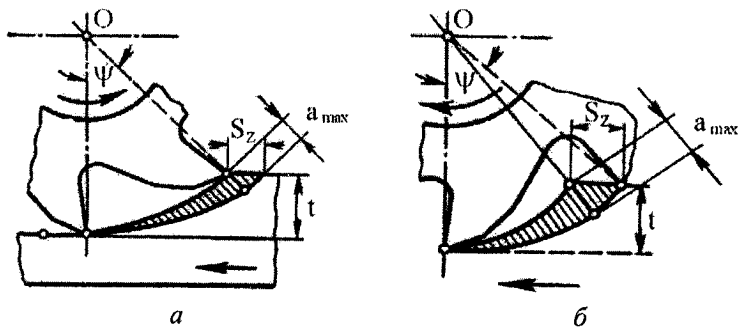


Рис. 3.7. Схеми фрезерування: а – зустрічного; б – попутного

При плоскому фрезеруванні циліндричною фрезою основна робота здійснюється периферійними різальними кромками, які і формують плоску поверхню. До плоского фрезерування відносяться також фрезерування пазів циліндричною робочою частиною кінцевої фрези з торцевими зубами і фрезерування шлиців дисковою фрезою з торцевими поверхнями, які мають допоміжні різальні кромки.

**Обробка кругових циліндричних поверхонь.** Фрезерування круглого циліндра може здійснюватись дисковою фрезою з зубами як на зовнішній, та і на внутрішній циліндричних поверхнях (рис. 3.8).

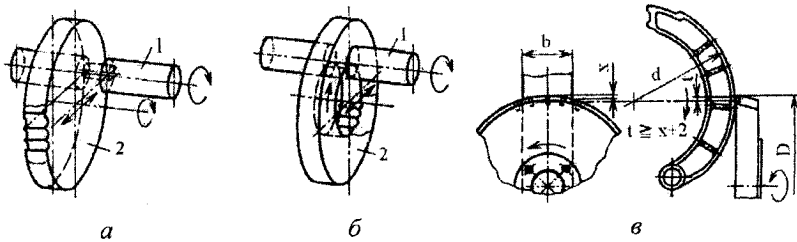


Рис. 3.8. Обробка циліндричних поверхонь: *а* – дисковою фрезою з зубами на зовнішній циліндричній поверхні; *б* – дисковою фрезою з зубами на внутрішній циліндричній поверхні; *в* – торцевою фрезою з широкими торцевими різальними кромками; 1 – деталь; 2 – фреза

**Виготовлення гвинтових поверхонь.** При фрезеруванні гвинтової поверхні дисковою фрезою (рис. 3.9) різальний інструмент із зубами на зовнішній циліндричній поверхні фрезерує паз із заданим кутом підйому на заготовці. Заготовка при цьому одночасно здійснює круговий і поздовжній рухи. Відповідно до кута підйому вісь дискової фрези повертається відносно вісі заготовки на кут  $\alpha$ . Для тієї ж цілі призначений спосіб фрезерування гвинтової канавки пальцевою або кінцевою фрезами.

Фрезерування різі відбувається аналогічно гвинтовому фрезеруванню дисковою фрезою, але замість інструмента прямокутного профілю застосовується дискова фреза, що має профіль, відповідний профілю різі.

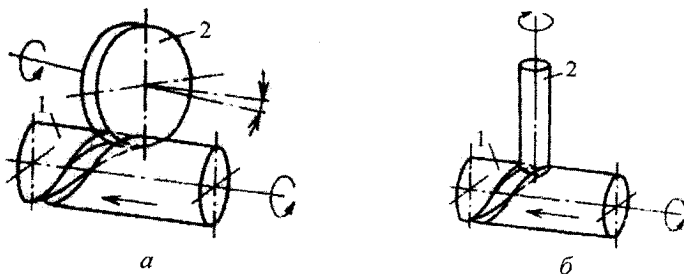


Рис. 3.9. Обробка гвинтових поверхнь: *а* – дисковою фрезою; *б* – пальцевою фрезою; *1* – заготовка; *2* – інструмент

**Обробка профільних поверхнь.** При прямолінійному профільному фрезеруванні (рис. 3.10, *а*) циліндрична фреза з зубами, розташованими по її профілюючій поверхні, фрезерує профіль на заготовці, яка здійснює відносно фрези подовжній рух подачі.

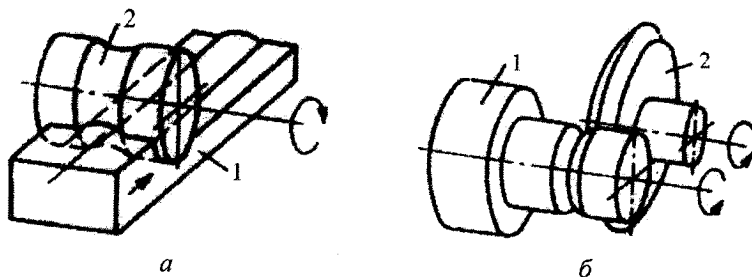


Рис. 3.10. Обробка фасонних поверхнь: *а* – фрезерування профільним інструментом; *б* – кругове профільне фрезерування (*1* – заготовка; *2* – інструмент)

При круговому профільному фрезеруванні (рис. 3.10, *б*) дискова фреза з розташованими на її профілюючій зовнішній або внутрішній поверхнях зубами після того, як вісі заготовки та інструмента зблизилися на необхідну глибину обробки, вифрезерує відповідний профіль на заготовці, що здійснює відносно фрези круговий рух подачі.



**Обробка зубчастих вінців.** При виготовленні зубчастих коліс застосовуються наступні методи фрезерування: 1) методом копіювання, коли профіль канавки копіюється з профілю дискової або кінцевої фрез, а кругова подача заготовки здійснюється поетапно на крок, який відповідає кроку зубчастого колеса; 2) методом обкатування, коли профіль зубів колеса визначається параметрами кінематичного зв'язку між рухами подачі інструмента і деталі.

#### **4. ОБРОБКА ІНСТРУМЕНТОМ, ОСНАЩЕНИМ ПНТМ НА ОСНОВІ АЛМАЗУ І КНБ**

##### **4.1. Обробка інструментами з різальними елементами із синтетичних алмазів**

Для виготовлення різального інструменту на основі синтетичних алмазів використовуються полікристалічні синтетичні матеріали АСБ, АСПК, СКМ-Р і алмазно-твердосплавні пластини, що складаються з алмазоносного шару і твердосплавної підкладки. Радіус округлення різальної кромки різців із полікристалічних синтетичних алмазів дорівнює приблизно 0,1 мкм, а параметр шорсткості різальної кромки –  $Ra$  0,07...0,08 мкм. Полікристалічні синтетичні алмази мають низку суттєвих переваг порівняно з природними алмазами. Зокрема, вони характеризуються ізотропністю фізико-механічних властивостей (виключається необхідність кристалографічної орієнтації при їхній обробці і використанні) і високою стійкістю до ударних навантажень. Завдяки цьому інструменти з полікристалічних синтетичних алмазів використовуються не тільки при чистовій, але і при чорновій та напівчистовій обробці.

Процес різання інструментом, оснащеним пластинами із синтетичних алмазів, має деякі відмінності від процесу різання інструментом, з оснащеним природними алмазами.

Коефіцієнт тертя синтетичних полікристалічних алмазів по металах трохи вищий, ніж природних. Це обумовлено наявністю пор на поверхні полікристалів. Пори виникають внаслідок випадання часток кристалітів, а також через наявність на поверхні полікристалів часток металевої фази. Однак, величина коефіцієнта тер-

тя синтетичних алмазів по більшості металів не перевищує 0,15...0,20. Тому процеси контактної взаємодії синтетичних алмазів із більшістю металів протікають у режимі зовнішнього тертя. Так само, як і для природного алмаза, виключення складають титан, цирконій та деякі інші метали, у контакті з якими поверхня синтетичних алмазів покривається металевою плівкою з високою адгезійною міцністю.

При точінні різцями з полікристалічних алмазів сили різання трохи вищі, ніж при роботі різцями з природних алмазів, але значно менші, ніж при роботі інструментами, оснащеними твердими сплавами або мінералокерамікою. Необхідно відзначити, що при алмазному точінні сили різання по мірі зношування різця підвищуються менш інтенсивно, ніж при тонкому точінні твердими сплавами. Це пов'язано з меншою зміною радіуса заокруглення різальної кромки алмазних різців при їхньому зношуванні. По мірі зношування задньої поверхні різця сила різання за абсолютною величиною зростає, але питомі навантаження при цьому зменшуються, тому що площа зношування збільшується швидше, ніж сила різання.

Температура в зоні різання при точінні різцями з полікристалічними синтетичними алмазами кольорових металів і сплавів, а також полімерних композиційних матеріалів не перевищує 473...573 °С, а при точінні титану, цирконію, нікелю, заліза вона досягає 650...723 °С і вище. Це визначає можливість активної адгезійної взаємодії інструмента з полікристалів алмазу з матеріалом оброблюваної деталі, а також можливість дифузії вуглецю алмаза в оброблюваний матеріал. Найбільш суттєво впливає на контактну температуру швидкість різання, найменш суттєво – глибина різання. Основним джерелом тепла є тертя на задній поверхні інструмента. При обробці кольорових металів і сплавів велика частина тепла розподіляється між деталлю та стружкой, а при різанні матеріалів із низькою теплопровідністю, наприклад, полімерних композицій і відбілених чавунів, збільшується доля теплової енергії, яка передається в різець. Як у випадку обробки кольорових металів і сплавів, так і полімерних композицій, середня температура поверхні деталі, як правило, не перевищує 100...120 °С, що дозволяє обробля-

ти конструкційні матеріали без структурно-фазових перетворень в їхньому поверхневому шарі. В зв'язку з низьким тепловиділенням, малим нагріванням деталі і інструмента обробка проводиться з максимальною точністю – теплове подовження різця та розширення деталі незначні.

Стійкість алмазного інструмента при лезовій обробці мідних і алюмінієвих сплавів становить сотні годин. Це дозволяє використовувати інструмент із полікристалічних алмазів на верстатах із ЧПК, системах гнучкого автоматизованого виробництва, у масовому виробництві, наприклад, деталей двигунів внутрішнього згоряння.

Інструмент із полікристалів синтетичних алмазів має особливості, які відрізняють його від інструмента з природного алмаза. Зносостійкість різців із синтетичних алмазів значно перевищує зносостійкість інструментів із природних алмазів. Експериментально доведено, що при обробці силумінів середня стійкість полікристалічного різця в 3 рази перевищує середню стійкість різця з монокристалічним природним алмазом.

Порівняння причин руйнування монокристалічних і полікристалічних алмазних різців при розточуванні підшипників ковзання, виготовлених із кольорових сплавів, показало, що полікристалічні різці відрізняються більш високими міцністю на згин і в'язкістю, ніж монокристалічні, а частина різців, що виходять з ладу за рахунок нормального зношування, значно зростає при заміні монокристалічних алмазних пластин полікристалічними.

Переваги інструмента з ПНТМ виявляються за рахунок хаотичної різнонаправленої орієнтації кристалів в алмазі, що забезпечує високу однорідність твердості і стійкості до абразивного зношування у всіх напрямках. Монокристал природного алмаза, як відзначалося раніше, має декілька твердих і м'яких кристалографічних площин і для досягнення мінімального зношування різальної кромки інструмента необхідно забезпечити правильну кристалографічну орієнтацію монокристала алмаза в інструменті.

Іншою перевагою ПНТМ є підвищена стійкість до ударних навантажень. Взаємне скріплення дрібних кристалів алмаза у полікристалічному шарі зводить до мінімуму можливість утворення великих відколів під дією ударних навантажень. Крім

того, міцна твердосплавна основа служить гарною опорою для алмазного шару і сприяє збільшенню міцності на удар.

Подібні результати отримані при обробці заевтектичних алюмінієво-кремнієвих сплавів (20...22 % Si). Звичайні різальні інструменти, у тому числі, і твердосплавні, швидко руйнуються твердими абразивними частками. Чередування твердої і м'якої гетерогенної структури діє на інструмент, як переривчасте різання та сприяє значному збільшенню динамічних навантажень на нього. Застосування полікристалічних алмазних інструментів при обробці алюмінієвих поршнів (рис. 4.1) дозволяє у 100...300 разів підвищити стійкість різців порівняно з твердосплавними.



Рис. 4.1. Поршень, оброблений алмазним різцем

При обробці поршня з алюмінієво-кремнієвого сплаву на токарно-копіювальному автоматі використовують різці

з АСПК із геометричними параметрами  $\gamma = -8^\circ$ ,  $\alpha = 8^\circ$ ,  $\varphi = 40^\circ$ ,  $\varphi_1 = 30^\circ$ ,  $R = 0,4$  мм при режимі різання:  $v = 400$  м/хв,  $S = 0,06$  мм/об,  $t = 0,16...0,20$  мм. Різці з АСПК забезпечують одержання параметра шорсткості обробленої поверхні  $Ra$  0,63 мкм при стійкості інструмента 50...80 годин машинного часу.

При розточуванні отворів під палець у поршні з висококремністого алюмінієвого сплаву застосовують розточувальні різці з АСПК із геометричними параметрами  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\alpha = 10^\circ$ ,  $\varphi = 50^\circ$ ,  $\varphi_1 = 20^\circ$ ,  $R = 0,2$  мм при режимі:  $v = 300...500$  м/хв,  $S = 0,04...0,05$  мм/об,  $t = 0,006...0,070$  мм.

Різці з АСПК забезпечують одержання шорсткості обробленої поверхні  $Ra$  0,63 мкм, при цьому їхня стійкість у 30...60 разів перевищує стійкість твердосплавних різців.

Обробку інструментами з ПНТМ на основі алмаза необхідно проводити на жорстких і швидкохідних верстатах, які забезпечують швидкість різання до 20 м/с, частоту обертання шпинделя до 6000 об/хв. Жорсткість токарних верстатів повинна

бути не менше 22 кН/мм, а розточувальних – 14,5 кН/мм. Амплітуда коливань верстата не повинна перевищувати 5 мкм, а радіальне та осьове биття шпинделя – 5...8 мкм для токарних і 3...5 мкм для розточувальних верстатів. Особливу увагу слід приділяти зниженню вібрацій у технологічній системі «верстат-інструмент-деталь» (ізоляції верстатів від зовнішніх джерел вібрацій).

При обробці алюмінієво-кремнієвих сплавів (20...22 % Si) зношування різців із полікристалічних алмазів відбувається, в основному, по задній поверхні, причому, ділянка зношування виглядає добре відполірованою. Температура у зоні різання при цьому не перевищує 250...300 С°, а питомий тиск – 0,1...1,0 ГПа. Зміна кількості кремнію в оброблюваних матеріалах значно впливає на стійкість різців. Зменшення його вмісту у 2 рази призводить до такого ж підвищення стійкості інструмента.

Як відзначалося вище, більш висока зносостійкість різців із синтетичних алмазів у порівнянні з різцями з природних алмазів обумовлена відмінностями їх структур. У природного алмаза внаслідок втомно-механічного впливу з'являються мікротріщини на різальній кромці. Ріст цих тріщин супроводжується відколпованням мікрооб'ємів алмаза від базового монокристалу. У синтетичних полікристалічних алмазів ріст тріщин гальмується або взагалі припиняється межами кристалітів, що і визначає їх більш високу зносостійкість.

На відміну від твердосплавного інструмента, де передня поверхня після 20 хв різання виявляється хімічно відполірованою, на передній поверхні різця з алмаза при обробці сплавів на основі титану, цирконію, вольфраму спостерігається зубчастий знос, тобто, поверхня має дільниці з більш високою швидкістю зношування і такі, на яких практично немає слідів зношування. Вважається, що на різних дільницях передньої поверхні алмазних різців умови контакту під час різання неоднакові.

Різці із синтетичних алмазів не забезпечують такий низький рівень шорсткості, як різці з природних алмазів. Полікристалічна структура не дозволяє одержати рівну різальну кромку різця, тому що при заточуванні окремі блоки кристалітів викришуюються, залишаючи на ній вириви та нерівності. Чим більш грубозернистим буде полікристал, тим більш шорсткою буде різальна кромка різця. В загальному випадку при викорис-

танні різців із синтетичних алмазів для обробки кольорових металів і сплавів на їх основі висота мікронерівностей обробленої поверхні приблизно у 1,5...2,5 рази вища, ніж при застосуванні різців із природних алмазів при однакових умовах різання.

Істотним чином на шорсткість обробленої поверхні впливає знос інструмента. Величина критерію затуплення інструмента регламентується двома факторами: якістю обробленої поверхні та собівартістю обробки. За критерій затуплення різців із полікристалічних синтетичних алмазів приймається ширина фаски зносу по задній поверхні 0,2...0,3 мм. При такій величині зносу інструмента забезпечується висота мікронерівностей менше 0,8...1,0 мкм, що задовольняє вимогам найбільш масових деталей з антифрикційних алюмінієвих висококремнистих сплавів – поршнів двигунів внутрішнього згорання. При необхідності одержання меншої шорсткості обробленої поверхні критерій затуплення обмежується величиною 0,1 мм.

При точінні титанових сплавів знос алмазних різців носить яскраво виражений температурний характер зі значним збільшенням радіуса округлення різальної кромки. В цих умовах зношування різця збільшується теплонавантаженість процесу різання. Тому при обробці титанових сплавів за критерій затуплення інструмента приймається ширина фаски зносу по задній поверхні 0,2...0,3 мм. Якщо ж до шорсткості обробленої поверхні висуваються підвищені вимоги, критерій затуплення інструмента обмежується величиною 0,2 мм.

Алмазні інструменти розроблені для тривалого використання, переважно, на верстатах із ЧПК з метою їхньої максимальної завантаженості. Для успішного та максимально повного використання алмазних інструментів необхідні потужні і точні верстати. Крім того, слід забезпечити мінімальний допуск на розмір посадочного місця для установки інструмента. Верстати повинні мати механічну подачу.

Останнім часом з'явилися пластини ПКА Syndite діаметром більш 100 мм. Це дає можливість виготовляти складний профільний фрезерний інструмент із різальними кромками великої довжини. За час експлуатації такого інструмента різальну кромку можна переточувати 16 разів. Вартість одного переточування складає 7...11 % від вартості нового інструмента.

Спеціально для високошвидкісної обробки алюмінієвих сплавів із високим вмістом кремнію та інших сплавів із твердими абразивними вкрапленнями створена гама інструментів, оснащених ПКА. Застосування пластин ПКА дозволяє до 10 разів підвищити його стійкість у порівнянні з традиційними твердосплавними фрезами.

Ще однією з перспективних областей застосування полікристалічного алмазного інструмента є обробка таких важкооброблюваних матеріалів, як деревинно-стружкові плити, плити середньої щільності з високим вмістом клею, плити з покриттями на основі меламінової смоли, декоративний пластик, а також абразивні матеріали. Обробка таких матеріалів іншими інструментами неекономічна.

На сьогодні переважна більшість усіх різальних інструментів, які застосовуються в ремонтному виробництві, деревообробній промисловості і промисловості по переробці пластмас, оснащується полікристалами алмаза. Стійкість такого інструмента у 200...300 разів перевищує стійкість твердосплавних інструментів.

Порівняння витрат на обробку деревинно-стружкових плит алмазними і твердосплавними дисковими фрезами показало, що витрати на їхню експлуатацію знаходяться у співвідношенні 1 : 7 на користь алмазного інструмента.

Режими різання та шорсткість обробленої поверхні при точінні кольорових металів і сплавів, а також деяких неметалевих матеріалів інструментами з ПКА, наведені у табл. 4.1 і 4.2.

#### **4.2. Обробка інструментами з різальними елементами із ПНТМ на основі щільних модифікацій нітриду бора**

Оптимальні геометричні параметри інструмента, оснащеного ПНТМ на основі КНБ, визначаються умовами різання і властивостями оброблюваного матеріалу. При цьому необхідно відзначити, що, як і для інструмента на основі алмазних ПНТМ, вибір геометричних параметрів переточуваного, тобто, паяного інструмента відрізняється від вибору геометрії непере-точуваного інструмента.

Таблиця 4.1

Режими різання при алмазному точінні та розточуванні кольорових металів і сплавів

Оброблюваний матеріал	$v$ , м/с	$S$ , мм/об	$t$ , мм
Алюміній і алюмінієві сплави	5...20	0,02...0,30	0,01...2,00
Силуміни (до 26 % Si)	1...5	0,02...0,30	0,01...2,00
Мідь і мідні сплави	3...15	0,02...0,30	0,01...2,00
Тверді сплави	0,25...0,65	0,01...1,00	0,01...1,00
Титанові сплави	1,0...2,5	0,02...0,20	0,01...0,50

Примітка: для фрезерування швидкість різання збільшується у 2,0...2,5 рази.

Таблиця 4.2

Режими різання при алмазному точінні та розточуванні неметалевих матеріалів

Оброблюваний матеріал	$v$ , м/с	$S$ , мм/об	$t$ , мм	$Ra$ , мкм
Оргскло	8...16	0,3...0,8	0,1...7,0	0,32...1,25
Гетінакс	6...14	0,2...0,8	0,1...7,0	0,63...1,25
Стеклотекстоліт	5...10	0,1...0,8	0,1...7,0	0,63...2,50
Склопластик	7...10	0,1...0,7	0,1...6,0	1,25...2,50
Компаунд	7...10	0,1...0,8	0,1...6,5	2,5...3,0
Вуглепластик	3...8	0,1...0,5	0,1...6,5	1,25...2,50
Борпластик	1,7	0,1	0,5	$Rz \geq 40$
Склокераміка	1,6...2,5	0,03...0,10	0,01...0,10	1,25...2,50
Граніт	0,8...6,6	0,03...0,30	0,05...5,00	—

Якщо у першому випадку заточуванням можливе досягнення будь-яких значень геометричних параметрів різальної частини інструмента, то в другому випадку існує обмеження, пов'язане з тим, що основні форми, розміри та геометричні параметри різальних елементів регламентуються міжнародним стандартом ISO 1832–85. В цьому випадку додатковим резервом є досягнення різних кутів за допомогою базових елементів державки, на які встановлюється різальна пластина.



У першу чергу геометричні параметри інструмента з ПНТМ на основі КНБ повинні забезпечувати міцність вершини та різальних кромок різця. Для цього, як правило, передньому куту інструмента надається негативного значення як при обробці сталей, так і при обробці чавунів. У деяких випадках при розточуванні чавунних деталей, точінні пластичних і в'язких матеріалів, наприклад, Ni-сплавів, використовуються різці з переднім кутом  $\gamma = 0^\circ$ , що пов'язано з виникненням вібрацій при різанні інструментом з негативним переднім кутом.

Для збільшення міцності вершини різця застосовуються кути в плані  $45$  і  $20^\circ$ .

Величина заднього кута інструмента, оснащеного ПНТМ на основі КНБ, має значний вплив на його працездатність. Зокрема, при точінні загартованих інструментальних і швидкорізальних сталей збільшення заднього кута від  $4...6^\circ$  до  $20...25^\circ$  підвищує стійкість інструмента у  $2...3$  рази. Однак, надмірне збільшення заднього кута послабляє різальну кромку. Тому при великому задньому куті ( $20...25^\circ$ ) необхідно збільшувати передній кут до  $15...20^\circ$ .

Кут нахилу різальної кромки при обробці без значних ударних навантажень на різець приймається рівним  $3...6^\circ$ . При обробці з ударними навантаженнями він зменшується для забезпечення міцності різальної пластини.

Перехід від головної до допоміжної різальної кромки може бути виконаний із радіусом  $0,1...0,6$  мм або у виді прямолінійної кромки довжиною  $0,3...0,8$  мм, яка розташована паралельно оброблюваній поверхні ( $\phi_0 = 0^\circ$ ). При обробці торцевих поверхонь довжина перехідної кромки збільшується до  $1,5$  мм. Це дозволяє збільшити подачу у порівнянні з поздовжньою обробкою.

Шорсткість поверхні після фрезерування ПНТМ залежить від довжини зачищувальної кромки та її відхилення від нормалі до вісі фрези. Допустима величина цього відхилення складає  $\pm 15'$ . Рекомендуються наступні довжини зачищувальної кромки: для обробки сірих чавунів –  $1,5$  мм; для обробки високоміцних чавунів –  $1$  мм; для обробки сталей твердістю  $35...55$  HRC –  $0,8$  мм; сталей твердістю  $55$  HRC –  $0,3...0,6$  мм.

При точінні вуглецевих термооброблених сталей в умовах різання без ударних навантажень і з ударними навантаженнями

рекомендується виконувати на інструменті фаску шириною до 0,2 мм із негативним переднім кутом.

Для випадку обробки з підвищеними ударними навантаженнями на задній поверхні інструмента рекомендується виконувати фаску 0,1...0,2 мм перпендикулярно основній площині; це знижує напруги, які діють на задній поверхні інструмента, внаслідок чого істотно (приблизно у 25 разів) збільшується його стійкість за рахунок зниження інтенсивності мікроруйнування різальних пластин.

Необхідно відзначити, що геометричні параметри інструмента залежать від форми оброблюваної деталі, тобто, від типу операції, для якої він призначений.

Вибираючи геометричні параметри інструмента, слід пам'ятати, що при використанні непереточуваних різальних пластин зміна переднього та заднього кутів інструмента відбувається одночасно за рахунок відповідної переустановки пластин у державці. У цьому випадку доцільно вказувати зміну кута різання.

Поєднання високих фізико-механічних властивостей і хімічної стійкості ПНТМ на основі КНБ обумовлює значно менші значення сил різання, ніж при обробці інструментами з швидко-різальних сталей і твердих сплавів. Зменшення сил різання обумовлене зниженням коефіцієнта тертя і зростанням температури в зоні різання; зростання температури призводить до значного зменшення міцності оброблюваного матеріалу, зменшення роботи його пластичної деформації.

Ступінь зношування інструмента впливає на силу різання. Збільшення зносу інструмента по задній поверхні викликає підвищення всіх складових сили різання, при цьому найбільше значення має і найбільш інтенсивно зростає осьова сила  $P_y$ .

Зниження поздовжньої усадки стружки до величини, близької до одиниці, є результатом впливу теплового фактора. При цьому, чим нижча теплопровідність інструментального матеріалу і вищий коефіцієнт тертя на робочих поверхнях інструмента, тим інтенсивніше зменшується усадка.

Швидкості різання, с якими працюють лезові інструменти з ПНТМ на основі КНБ, викликають значне тепловиділення в зоні різання, особливо, при обробці матеріалів високої твердості. Висока теплопровідність ПНТМ забезпечує швидке відведення тепла від різальної кромки у тіло інструмента.

Характер впливу швидкості різання на температуру при обробці загартованої сталі різцями з ПНТМ і твердих сплавів ідентичний. При низьких швидкостях різання (менше 0,5...0,8 м/с) різцями з ПНТМ утворюється яскраво виражена елементна стружка, довжина контакту якої з передньою поверхнею інструмента невелика.

Підвищення швидкості різання до 1,5 м/с і більше призводить до утворення зливної стружки. Довжина контакту стружки з передньою поверхнею інструмента збільшується, підвищується температура контакту. Подальший ріст швидкості різання ще більше підвищує температуру в зоні різання і у деяких випадках стружка може оплаватися.

Обробка сталей різцями з ПНТМ на основі КНБ супроводжується більш значним тепловиділенням, ніж обробка чавунів, хоча характер впливу режимів різання на температуру в зоні різання не змінюється, причому, вплив подачі на температуру в зоні різання більший, ніж вплив глибини різання.

Специфічні фізико-механічні властивості матеріалів на основі КНБ обумовлюють можливість досягнення високої якості обробленої поверхні на фінішних операціях механічної обробки. За показниками економічності, продуктивності, якості обробленої поверхні операції точіння інструментом із ПНТМ успішно конкурують з процесами шліфування (рис. 4.2).

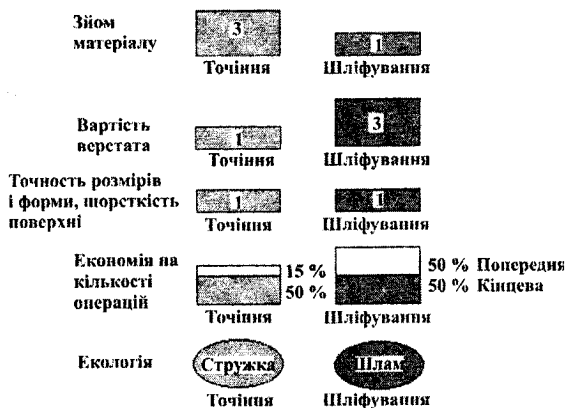


Рис. 4.2. Порівняльна ефективність процесів точіння і шліфування

Однією з тенденцій розвитку технологій лезової обробки в ремонтному виробництві є тверде точіння. Під цим процесом розуміють лезову обробку матеріалів твердістю більше 47 HRC різцями з ПНТМ і кераміки замість шліфування.

Крім низької шорсткості обробленої поверхні і практично повної відсутності її шаржування, застосування різців із ПНТМ формує у поверхневому шарі тангенціальні залишкові напруги стиску  $\sigma_{\text{зал}}$ , що сприятливо позначається на подальшій експлуатації деталей. Обробка практично не викликає структурно-фазових перетворень у поверхневому шарі.

Як відзначалося раніше, зношування різального інструмента представляє собою складне термодинамічне явище, яке включає в себе декілька діючих одночасно механізмів зношування – абразивне, адгезійне, втомне, дифузійне, хімічне. Ступінь впливу того або іншого механізму зношування залежить від природи контактуючих матеріалів і умов контактування. У більшості випадків спостерегається екстремальний характер залежності «стійкість інструмента – швидкість різання».

Інтенсивність адгезійного зношування з ростом температури в зоні різання зростає. При цьому коефіцієнт адгезії для сталі у 1,5...2 рази вищий, ніж для чавуну.

Коефіцієнт зміцнення адгезійного зв'язку з ростом температури змінюється несуттєво (у 1,1...1,3 рази при зміні температури від 200 до 900 С°). Для загартованої сталі він у 3...4 рази менше, ніж для пластичної.

Внаслідок механічного та адгезійного зношування з полікристалів на основі КНБ виринають окремі частки матеріалу, що сприяє інтенсифікації абразивної взаємодії на контактних ділянках інструмента.

Необхідно відзначити, що величина зносу інструмента з ПНТМ на основі КНБ при обробці пластичних сталей обумовлена не особливостями матеріалів на основі КНБ, а засобом виготовлення і властивостями конкретного ПНТМ.

У діапазоні тих швидкостей різання, які практично використовуються для обробки конструкційних матеріалів, на знос інструмента з ПНТМ на основі КНБ впливає хімічна взаємодія інструментального матеріалу з оброблюваним, а також з елементами навколишнього середовища в зоні різання, що призводить до появи нових сполук, плавлення і видалення рідкої фази з контактних зон. Це дозволяє пояснити приблизно однакову стійкість інструментів з різних композитів на основі КНБ при обробці

сталей і сплавів зі швидкостями різання більше 2,0...2,5 м/с. Наявністю рідкої фази в зоні різання можна пояснити і відносно низький коефіцієнт тертя, що спостерігається при роботі інструментом на основі КНБ.

Основним резервом підвищення продуктивності обробки інструментом із ПНТМ є підвищення швидкості різання (табл. 4.3). Причому, найбільший ефект від підвищення швидкості різання досягається при обробці високотвердих матеріалів. Продуктивність обробки та одержання необхідних параметрів стану поверхневого шару деталей забезпечуються режимами різання і застосуванням різального інструмента оптимальної конструкції.

Композити є якісно новим інструментальним матеріалом і їхня експлуатація пред'являє підвищені вимоги до верстатів. Ефективне використання різців із композитів можливе лише на метало-різальних верстатах підвищеної, високої та особливо високої точності, які мають велику частоту обертання шпинделя (3000...6000 об/хв) і малу поздовжню подачу (0,005...0,500 мм/об).

Таблиця 4.3

Швидкості різання (м/с) інструментами з ПНТМ і твердих сплавів

Оброблюваний матеріал	Матеріал інструмента	
	ПНТМ на основі КНБ	твердий сплав
Сталь 150...250 НВ 45...55 HRC 60...70 HRC	1,66 1,33...2,66 1...2	2,1...5,0 0,60...1,15 0,15...0,50
Сірий чавун 120...240 НВ	6,7...16,7	1,66...3,33
Високоміцний чавун 160...330 НВ	5,00...13,33	0,83...1,66
Відбілений і загартований чавун 50...60 HRC	0,83...2,50	0,15...0,30

Фрезерні верстати, при роботі на яких використовуються фрези з композитів, повинні забезпечувати при діаметрі фрези 125...400 мм частоту обертання шпинделя 125...5000 об/хв і швидкість руху поздовжньої подачі 30...3000 мм/хв. При фрезеруванні з метою зменшення робочого ходу фрези та зменшення швидкості зношування пластин композитів вісь шпинделя верстата слід нахилити на кут 10'... 60'.

Верстати повинні бути оснащені системою подачі ЗОТС з витратою не менше 5 л на зуб фрези, причому, ЗОТС повинна подаватися безупинно для запобігання появи тріщин на різальних кромках. Застосування ЗОТС при точінні не є обов'язковим, але воно сприяє підвищенню точності обробки, особливо, при розточуванні.

Перспективним є використання інструмента з композитів на верстатах з ЧПК.

Обробка лезовим інструментом із композитів здійснюється при глибині різання до 5 мм. Тому можна залишати великі припуски під термо- та остаточну обробку, що важливо для деталей, схильних при термообробці до деформації. В умовах ремонтного виробництва це дозволяє проектувати технологію механічної обробки, значно зменшуючи обсяг операцій, які виконуються до термічної обробки.

Вибір марки композитів для різних технологічних умов обробки залежить від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, геометричних параметрів оброблюваної поверхні, виду операції, необхідних шорсткості і точності обробленої поверхні.

Чим вища твердість оброблюваного матеріалу, тим більш ефективно застосування різців і фрез, оснащених композитами. При точінні загартованих сталей твердістю 62...67 HRC стійкість різців із композитів у 10...20 разів вища стійкості тврдосплавних різців і у 2...3 рази вища стійкості мінералокерамічних різців.

При твердості сталі 62...64 HRC, стійкість різців із композита 01 приблизно у 2 рази перевищує стійкість різців з композита 10 і в 4...5 разів – стійкість різців із композита 05, причому, зі збільшенням швидкості різання ця різниця зростає. При точінні з ударними навантаженнями стійкість різців із композита 10 істотно вища стійкості різців із композитів 01 і 05, особливо, при обробці сталей високої твердості. При обробці сірих чавунів із економічних міркувань переважно використовують композити 05 і 01.

Максимальна подача на хід при обробці чавуну фрезою з композита 05 становить 6 мм, при обробці сталі фрезою з пластинами з композита 10Д – 1,5 мм, тому припуск на фре-

зерування не повинний перевищувати цих значень. Фрези з переточуваними ножами, які мають великий радіус вершини, призначені для тонкого фрезерування на поздовжньо-шліфувальних верстатах; у цьому випадку можна використовувати невеликі кристали композиту 01. При цьому подача на хід складає 0,8...1,0 мм.

Полікристали композита 10 і круглі пластини з композита 10Д допускають роботу з подачею на хід 1,5...2,0 мм.

Раціональні області застосування пластин із композитів різних марок наведені у табл. 4.4.

Різцями з композитів обробляють внутрішні і зовнішні поверхні тіл обертання, суцільні та переривчасті поверхні, підрізають торці, виконують обробку за копіром, обробляють на верстатах із ЧПК складні фасонні профілі. Фрезами з композитів обробляють закриті (типу «ластівчин хвіст») і відкриті поверхні деталей (типу «корпус» або «кришка»), у тому числі, на верстатах із ЧПК та обробних центрах.

Таблиця 4.4  
Області застосування круглих пластин із композитів різних марок

Вид пластини	Марка композита	Область застосування	Поперечна подача, мм/хід
Цільна	01	Тонке і чистове точіння без ударних навантажень, торцеве фрезерування деталей із загартованих сталей і чавунів твердістю до 67 HRC, твердих сплавів із вмістом кобальту > 15 %	0,05... 0,50
	05, 05ИТ	Точіння без ударних навантажень деталей із загартованих сталей твердістю < 60 HRC і чавунів будь-якої твердості	
Двошарова	10Д	Точіння з ударними навантаженнями, торцеве фрезерування деталей із загартованих сталей і чавунів твердістю до 67 HRC, твердих сплавів із вмістом кобальту > 15 %, нікелевих сплавів	0,05... 2,00

Рекомендовані режими різання при фрезеруванні і точінні інструментом із композитів наведені у табл. 4.5 і 4.6.

При точінні різцями з композитів забезпечуються шорсткість обробленої поверхні  $Ra < 0,63 \dots 1,25$  мкм і 7...8 квалітети точності.

При фрезеруванні сталевих деталей фрезами зі вставками, які можуть переточуватись, забезпечується шорсткість обробленої поверхні  $Ra 0,2 \dots 2,0$  мкм, при фрезеруванні деталей з чавуну – шорсткість  $Ra 1,0 \dots 6,0$  мкм.

У табл. 4.7 наведені орієнтовні режими обробки деяких конструкційних матеріалів інструментом із кибориту.

Відхилення від неплоскостності оброблених поверхонь при фрезеруванні фрезами зі вставками, які можуть переточуватись, складає 0,005...0,010 мм, фрезами з непереточуваними пластинами – 0,03...0,05 мм. Точність геометричних розмірів поверхонь забезпечується відповідно до 7...8 квалітетів.

Таблиця 4.5

Режими торцевого фрезерування інструментом з композитів

Оброблюваний матеріал	Марка композита	Швидкість різання, м/хв	Поздовжня подача, мм/зуб	Поперечна подача, мм/хід
Конструкційні та леговані сталі твердістю $\leq 30$ HRC	01, 10, 10Д	400...900	0,01...1,00	0,05...2,00
Конструкційні, леговані, інструментальні сталі твердістю 35...55 HRC		200...600		0,05...1,20
Загартовані сталі твердістю 55...67 HRC, крім швидкорізальних		80...300		0,05...0,80
Швидкорізальні сталі твердістю 60...70 HRC		20...40		0,05...0,80
Сірі та високоміцні чавуни твердістю 150...300 HB	01, 05, 10, 10Д	800...3000	0,01...0,10	0,05...6,00
Відбілені чавуни твердістю до 400 HB	01, 05, 10	200...800		0,05...1,00



Таблиця 4.6

## Режими точіння інструментом із композита

Оброблюваний матеріал	Вид обробки*	Марка композита	Швидкість різання, м/хв	Поздовжня подача, мм/об	Поперечна подача, мм/хід
1	2	3	4	5	6
Сталі інструментальні, леговані, конструкційні та підшипникові (40...60 HRC)	н/ч, б/у	05, 05И	50...100	0,1...0,2	1...2
	н/ч, з/у	10	40...80	0,10...0,15	0,8...1,5
	ч, б/у	05И, 01, 02	60...120	0,04...0,08	0,4...1,0
	ч, з/у	10, 09	50...90	0,04...0,07	0,3...0,5
	т, б/у	01, 02	60...160	0,005...0,002	0,05...0,20
Сталі швидкорізальні, інструментальні (58...68 HRC)	ч, б/у	01, 02	60...120	0,03...0,07	0,2...0,8
	ч, з/у	09, 10	40...70	0,03...0,07	0,2...0,4
	т, б/у	01, 02	60...110	0,005...0,020	0,05...0,10
	т, з/у	09, 10	50...80	0,005...0,020	0,05...0,10
Чавуни сірі та високоміцні (150...270 HB)	н/ч, б/у	05И, 10	300...600	0,1...0,3	1...3
	н/ч, з/у	05И, 10	200...400	0,1...0,2	0,8...1,5
	ч, б/у	05И, 01, 02	400...900	0,02...0,08	0,2...0,6
	ч, з/у	10, 09, 05И, 01, 02	300...500	0,02...0,08	0,2...0,4
Чавуни відлені загартовані (400...600 HB)	н/ч, б/у	05И, 10	100...200	0,1...0,2	1...2
	н/ч, з/у	10	60...120	0,10...0,15	0,8...1,5
	ч, б/у	05И, 01, 02	100...200	0,02...0,08	0,1...0,5
	ч, з/у	10, 09	60...100	0,02...0,06	0,1...0,3
Тверді сплави ВК15, ВК20, ВК25 (88...90 HRA)	ч, б/у	10	5...10	0,04...0,08	0,4...0,8
	т, б/у	10, 01, 02	8...12	0,005...0,020	0,05...0,10

\* н/ч, ч, т – напівчистова, чистова, тонка обробка відповідно;  
б/у, з/у – без удару, з ударом відповідно.

Таблиця 4.7

Режими різання при обробці різцями з кйбориту

Оброблюваний матеріал	Режими різання			Стійкість інструменту, хв	Шорсткість поверхні $Ra$ , мкм	ЗОТС
	$v$ , м/с	$S$ , мм/об	$t$ , мм			
1	2	3	4	5	6	7
Чавуни СЧ 18–35	6,6...8,3	0,02... 0,20	0,2...1,5	150...360	0,32...2,50	без ЗОТС
Чавун КЧ 35-10	5,0...8,3	0,02... 0,15	0,2...1,5	50...120	0,63...2,50	те саме
Високоміцні чавуни	6,0...8,3	0,02... 0,15	0,2...2,0	70...150	0,63...2,50	«
Зносостійкий чавун ИЧХ28	0,5...0,6	0,1...0,2	до 2,0	60...75	0,63...2,50	«
Сталь ШХ15, 62...64HRC	1,0...1,5	0,02... 0,12	0,2...1,0	50...90	0,32...1,25	«
Сталь ХВГ	1,33...1,66	0,02... 0,12	0,2...1,0	100...180	0,32...1,25	5 % розчин емуль-сола
Сталь 9ХС, Х12М, 55...60HRC	0,83...1,30	0,02... 0,12	0,2...1,0	40...100	0,32...1,25	без ЗОТС
Сталь 40Х13, 55...58 HRC	0,4...0,6	0,02... 0,12	0,2...0,5	80...160	0,32...1,25	5 % розчин емуль-сола
Сталь 45, 55HRC	1,6...2,5	0,04... 0,16	0,2...1,5	70...150	0,32...2,50	те саме
Сталь ЭИ 474, 53HRC	1,0...1,6	0,02... 0,12	0,2...1,0	40...80	0,32...1,25	без ЗОТС
Високомарганцева сталь 110М13Л	1,00...1,50	0,10... 0,25	до 6,0	90...120	1,00...2,50	те саме

## **5. ОБРОБКА НАПЛАВЛЕНИХ І НАПИЛЕНИХ ПОКРИТТІВ ЛЕЗОВИМИ ІНСТРУМЕНТАМИ**

Для більшості деталей, на які наносяться захисні покриття, потрібна подальша обробка для одержання необхідних точності розмірів і якості поверхні. Однак, обробка покриттів значно відрізняється від обробки монолітних матеріалів. Для наплавлених і напилених матеріалів характерною є низка специфічних властивостей, які суттєво впливають на їхню оброблюваність: значні макровідхилення поверхні; неоднорідний хімічний склад по перетину; підвищена пористість; різна твердість по поверхні та глибині; присутність у матеріалі шлаків і твердих абразивних вкраплень; значний оксидний шар на поверхні і на деяких внутрішніх фрагментах структури. Тому обробка покриттів супроводжується: зниженою стійкістю інструмента і більш високою температурою в зоні різання у порівнянні з обробкою литих матеріалів того ж хімічного складу; значними коливаннями сил різання і контактних навантажень на поверхні інструмента; нестабільністю процесу різання. Таким чином, високі механічні характеристики покриттів, забезпечуючи їхні функціональні властивості і підвищуючи довговічність деталей, різко знижують оброблюваність відновлених і зміцнених деталей різанням.

Перспективним методом обробки захисних покриттів є лезова обробка. Процеси лезової обробки супроводжуються більш низькими енерговитратами і є продуктивнішими за шліфування. Чистове і тонке точіння у багатьох випадках забезпечують вимоги як по продуктивності обробки, так і по якості робочих поверхонь деталей з покриттями.

### **5.1. Матеріали для оснащення лезових інструментів для обробки покриттів**

Для оснащення лезових інструментів, призначених для обробки деталей з покриттями, можуть бути використані різні інструментальні матеріали – тверді сплави, мінералокераміка, ПНТМ.

Покриття твердістю до 35 HRC обробляються інструментом із твердих сплавів груп ТК і ВК. Перспективним є використання безвольфрамкових твердих сплавів, наприклад, марки СТИМ-ЗБ.

При обробці наплавленого дроту Св08А інструментами, оснащеними твердими сплавами ВКЗМ, ВК6, ВК8, Т5К10, Т14К8, Т15К6, Т30К4, ТТ7К12, ТТ7К12 (з покриттям TiN) і мінералокерамікою ЦМ-332, В3, В0К-60, В0К-71, найбільшу стійкість мають твердий сплав ВКЗМ при швидкостях різання до 50 м/хв і мінералокераміка марок В0К-60, В0К-71 при більш високих швидкостях різання.

Чорнове точіння твердосплавним інструментом наплавлених деталей забезпечує продуктивність 300...15000 мм<sup>3</sup>/хв.

При точінні деталей, наплавлених під шаром флюсу металом із аустенітною структурою твердістю до 40...42 HRC, найбільшою стійкістю відрізняється безвольфрамовий твердий сплав марки СТИМЗБ (стійкість до 50 хв). Сплави ТН20 і КНТ16 мають стійкість до 10...20 хв.

Покриття твердістю до 40...45 HRC можуть оброблятися інструментом із твердих сплавів Т15К6, Т5К10, ТТ7К12, ВК6, ВК8 зі швидкістю різання до 40...45 м/хв, подачею – 0,15...0,30 мм/об, глибиною різання – 0,5...1,0 мм. Але стійкість різців у 2...3 рази нижча, ніж при точінні вуглецевої сталі такої ж твердості.

При обробці інструментом із твердих сплавів наплавлених матеріалів твердістю 48...55 HRC приходиться зменшувати швидкість різання до 15...20 м/хв. Стійкість різців при цьому знижується до 20...30 хв. Низька розмірна стійкість твердосплавного інструмента виключає можливість остаточної обробки точінням наплавлених деталей, тому що не забезпечується виконання вимог щодо якості обробленої поверхні і точності деталей. Для остаточної обробки наплавлених покриттів твердістю понад 45 HRC найчастіше використовують шліфування.

При твердості покриття понад 40...45 HRC ефективна обробка інструментами з твердих сплавів вкрай ускладнена. Для чорнового точіння покриттів, наплавлених дротами марок 30ХГСА, 65М, 60С2 твердістю 45...60 HRC, можуть використовуватися дрібнозернисті тверді сплави марок ВКЗМ, ВК6М. Різці виготовляються з негативними передніми кутами, щоб забез-

печити підвищену міцність різальної частини. Стійкість різців із дрібнозернистого сплаву марки ВКЗМ у 3...4 рази вища, ніж різців зі сплаву марки ВК8.

Перспективним є точіння твердих зносостійких покриттів інструментом із ПНТМ на основі КНБ. З матеріалів, розроблених у СНД, найбільшу стійкість при попередній механічній обробці покриттів (глибина різання до 2,0...2,5 мм) мають композити 10, 10Д і киборит. Різці, оснащені цими матеріалами, дозволяють знімати шари зносостійких покриттів зі значними макровідхиленнями профілю та складною багатофазною структурою. Особливо ефективне застосування інструмента з механічним кріпленням різальних пластин у державці.

Композит 01 і композит 02 рекомендується використовувати для тонкого і чистового точіння, переважно, без ударних навантажень, і торцевого фрезерування. Композит 10 і двошарові пластини з композита 10Д рекомендується використовувати на операціях попереднього та остаточного точіння з ударними навантаженнями та без них і торцевого фрезерування. При обробці покриттів, наплавлених порошковим дротом марки ПП-Нп-30Х5М2СМ (52 HRC) і дротом марки Нп-12Х18Н9Т, стійкість різців із композита 10 у 8...10 разів перевищує стійкість різців із твердого сплаву Т15К6.

При чистовій обробці наплавлених покриттів стійкість різців із композита 10 у 2,0...2,5 рази вища, ніж різців зі сплаву ВКЗМ. Для різців зі сплавів ВКЗМ, ВК6М рекомендуються наступні геометричні параметри:  $\gamma = 10...15^\circ$ ;  $\alpha = 5...8^\circ$ ;  $\varphi = 30...45^\circ$ ;  $\varphi_1 = 30^\circ$ ;  $R = 3,0$  мм;  $f = 1,5...2,0$  мм, а для різців із композитів 01 і 10 –  $\gamma = 10...15^\circ$ ;  $\alpha = 8...10^\circ$ ;  $\varphi = 30...45^\circ$ ;  $\varphi_1 = 10...20^\circ$ ;  $R = 1,0$  мм.

Інструментом із кибориту, залежно від міцності, твердості і структури покриття, можна здійснювати обробку з глибиною різання до 2,0...2,5 мм і видаляти дефектний поверхневий шар із шлаковою плівкою за один прохід. Оптимальна глибина різання при точінні різцями з композита 10 складає 0,8...1,2 мм. Подальше збільшення глибини різання значно зменшує стійкість інструмента. Ймовірно, така різниця у стійкості інструментів визначається тим, що при близьких значеннях твердості модуль

пружності киборита на 23 % вищий, ніж у композита 10, а коефіцієнт тріщиностійкості – на 28 %.

Фізико-механічні властивості деяких інструментальних ПНТМ наведені в розд. 2.

Для вибору найбільш стійкого матеріалу різального інструменту розроблена наступна методика.

На першому етапі, для попереднього вибору матеріалу інструмента, проводиться порівняння твердостей різних марок твердих сплавів і матеріалів покриттів при температурі 800 °С, а ПНТМ і покриттів – при температурі 1000 °С:

$$K = HV_{п} / HV_{м}, \quad (5.1)$$

де  $HV_{п}$ ,  $HV_{м}$  – відповідно твердість інструментального та оброблюваного матеріалів.

У табл. 5.1 наведені значення коефіцієнтів  $K$  для інструментальних, наплавлених і напилених матеріалів при зазначених температурах. Вибирається той інструментальний матеріал, для якого величина  $K$  має найбільше значення. На підставі цих даних для обробки зносостійких покриттів можуть бути рекомендовані безвольфрамований твердий сплав СТИМЗБ, мінералокераміка ВОК60 і полікристалічні матеріали композит 10 і киборит.

Таблиця 5.1  
Співвідношення твердостей інструментальних і оброблюваних матеріалів

Матеріал інструмента	Покриття			
	ПП-Нп-25X5ФМС	ПП-Нп-35В9Х3СФ	ЛС-5Х4В3МФС	системи Ni-Cr-B-Si
ВК3	8,7	7,9	6,7	12,5
ВК6	7,3	6,6	5,6	11,6
Т5К10	6,7	6,2	5,2	7,6
Т15К6	7,9	7,7	6,1	12,2
КНТ16	8,6	7,5	6,3	–
СТИМ-ЗБ	12,0	10,9	9,2	16,0
ВОК-60	14,7	12,7	10,7	–
Композит 10	21,2	21,2	21,2	100
Киборит	36,5	36,5	36,5	130

Відомо, що об'ємні механічні характеристики матеріалів далеко не завжди визначають їх працездатність у парі тертя. В цих умовах при виборі найбільш зносостійкого матеріалу необхідно враховувати цілу низку властивостей, які характеризують його не об'ємну, а поверхневу міцність при терті.

На другому етапі вибору інструментального матеріалу можуть бути використані методи і методики, які застосовуються при дослідженні процесів тертя і зношування деталей машин.

Одним із перспективних методів таких досліджень є деформаційно-спектральний аналіз. За цим методом поверхневий шар матеріалу сканується алмазним індентором у режимі пружно-пластичного деформування і вимірюються статистичні характеристики опору матеріалу пружному та пластичному деформуванню. При русі індентор коливається у режимі змушених коливань, характер яких визначається структурним станом матеріалу. Для обробки і представлення результатів оцінки властивостей поверхневих шарів матеріалів використовується апарат кореляційного і спектрального аналізів випадкових процесів. Контролюються наступні характеристики:  $m$  – математичне очікування сили контактної взаємодії індентора з поверхневим шаром;  $D$  – дисперсія сили контактної взаємодії;  $S_{sp}$  – енергетична спектральна щільність розподілу сили контактної взаємодії, яка характеризує особливості структури деформованого поверхневого шару;  $f_{cp}$  – середня частота гармоніка, яка відповідає 50 %-му рівню енергії процесу контактної взаємодії, тобто, яка ділить спектр процесу на дві рівні за площею частини, що відповідає рівності енергій низько- і височастотних складових спектра;  $f$  – сумарна частота, яка відповідає усьому спектру процесу.

Представивши модель поверхневого шару, як систему випадково розподілених структурно-енергетичних бар'єрів різної потужності, що перешкоджають поширенню пружно-пластичних деформацій, можна оцінити зміни міцності і деформаційних властивостей поверхневого шару наведеним вище комплексом числових характеристик.

Про порівняльну стійкість інструментальних матеріалів можна судити з аналізу даних у табл. 5.2.

Таблиця 5.2

## Результати деформаційно-спектрального аналізу матеріалів

Матеріал	$E$ , ГПа	$\mu$	НК, ГПа	$K_{1c}$ , МПа·м <sup>1/2</sup>	$m$ , Н	$D \cdot 10^4$ , Н <sup>2</sup>	$f_{cp} \cdot 10^4$ , МГц
Киборит	880	0,16	32,4	8,16	2,23	0,1	2,8
Композити:							
02	720	0,16	35,0	–	1,86	0,16	2,6
05	620	0,15	18,5	4,58	1,72	0,35	2,6
10	715	0,16	36,2	5,83	2,36	0,03	6,0
T15K6	550	0,22	15,5	10,8	0,51	2,7	3,1

Композити 02, 05, 10 і киборит мають комбіновану структуру з переважно великими фрагментами. Дрібнофрагментні складові характеризуються близькими значеннями енергетичної спектральної щільності розподілу сили контактної взаємодії. Великі фрагменти розрізняються за величиною енергії, необхідної для контактного деформування. Найбільше значення вона має для композита 05, найменше – для композита 10. Це пов'язано із розміром зерна у структурі ПНТМ. Для матеріалів, властивості яких представлені у табл. 5.2, розмір зерен складає: 2...10 мкм у композиті 05; 2...4 мкм у кибориті і 0,5...1,0 мкм у композиті 10.

Оскільки для деформування великого зерна нітриду бора витрачається більша енергія, значення  $S_{cp}$  для композита 05 найбільше. У той же час, питома величина математичного очікування сили контактної взаємодії  $m$  для композита 05 менша, ніж для інших ПНТМ. Це пов'язано з наявністю великої кількості менш міцної зв'язки, яка складається зі з'єднань хрому та цирконію, що визначає підвищену дисперсію сили контактної взаємодії ( $D$ ) і меншу зносостійкість композита 05 у порівнянні з іншими ПНТМ на основі КНБ.

Найбільшу зносостійкість мають полікристали композита 10 і киборита, які мають високі значення параметра  $m$  при найменшій дисперсії сили контактної взаємодії.

Менша стійкість твердого сплаву порівняно з ПНТМ при обробці загартованих і важкооброблюваних матеріалів підтверджується і меншою величиною питомої сили контактної взаємодії  $m$ , і більшою дисперсією сили контактної взаємодії.



Таким чином, деформаційно-спектральний аналіз дозволяє оцінити стійкість інструментальних матеріалів при обробці без ударних навантажень за критерієм їхньої зносостійкості.

Для оцінки стійкості інструментальних матеріалів в умовах ударних навантажень в аналіз необхідно ввести додаткові параметри, наприклад, коефіцієнт тріщиностійкості  $K_{Ic}$ . З огляду на значення  $K_{Ic}$  і результати деформаційно-спектрального аналізу можна зробити висновок, що в умовах ударних навантажень найбільш високими експлуатаційними характеристиками володіє ПНТМ киборит.

Розглянутий спосіб вибору інструментального матеріалу прийнятний у випадку відсутності крихкого руйнування інструмента.

На останньому етапі проводиться експериментальне порівняння характеристик відібраних матеріалів.

При використанні різців із механічним кріпленням різального елемента державку оснащують шліфованою підкладною пластиною з твердого сплаву. Це дозволяє уникнути деформації державки під дією сил різання при високій температурі в зоні обробки. Затискну ділянку прихвата бажано також армувати твердим сплавом. Це зменшує знос прихвата стружкой і значно підвищує надійність роботи інструмента.

Для видалення припуску більше 2,5...3,0 мм можуть бути використані різці з декількома різальними елементами, кожен з яких знімає припуск у межах 1,0...1,5 мм.

Цільні різальні елементи круглої форми з ПНТМ можна повертати навколо вісі, що збільшує стійкість інструмента у 5...6 разів; перевертати з метою використання опорної поверхні в якості передньої поверхні інструмента при повному її зношуванні з однієї сторони; послідовно обробляти по діаметру до менших розмірів, що у 20...30 разів збільшує загальний період стійкості інструмента до повного зношування пластини за умови відсутності крихкого руйнування. Початковий діаметр пластин круглої форми з ПНТМ складає 5,56...25,40 мм.

При обробці деталей, наплавлених матеріалами з мартенситною структурою і сплавами типу реліт-мельхіор, найбільшу стійкість має інструмент, оснащений полікрісталами киборита. Киборит забезпечує також добрі результати при обробці зносостійких газотермічних покриттів із евтектичних сплавів на основі нікелю, кобальту, заліза.

Застосування різців із киборита для чистової обробки покриттів дозволяє одержувати шорсткість поверхні  $Ra$  0,7...1,0 мкм, що дає можливість у багатьох випадках обійтися без шліфування.

У табл. 5.3 наведені узагальнені рекомендації щодо використання інструментальних полікристалічних матеріалів, у табл. 5.4 – рекомендації з вибору інструментального матеріалу для точіння наплавлених покриттів, які розроблені відповідно до класифікації матеріалів для наплавлення Міжнародного інституту зварювання. У табл. 5.5 представлені області застосування різних інструментальних матеріалів при обробці покриттів. Ефективність застосування інструмента з ПНТМ зростає зі збільшенням твердості оброблюваних матеріалів, а також у випадку обробки матеріалів із абразивними вкрапленнями.

Таблиця 5.3

Працездатність ПНТМ при точінні покриттів

Покриття	Твердість, HRC	Матеріал інструмента		
		композит 01	композит 10	киборит
Наплавлені	40...48	задовільна	висока	дуже висока
	48...50	незадовільна	задовільна	дуже висока
	55...65	незадовільна	задовільна	висока
Напилені	40...50	задовільна	висока	дуже висока
	50...60	незадовільна	задовільна	дуже висока

Таблиця 5.4

Рекомендації для вибору інструментальних матеріалів

Матеріал покриття	Позначення	Твердість, HRC	Матеріал інструмента	
			чорнова обробка	чистова обробка
1	2	3	4	5
Низьколегована сталь, $C < 0,4\%$	A	40	Киборит; T5K10	Киборит; T15K6; композит 01, 10; ВОК-60; ОНТ-20
Низьколегована сталь, $C > 0,4\%$	B	60	Киборит	Киборит; T30K4; композит 01, 10; ВОК-60; ОНТ-20; силініт-Р

1	2	3	4	5
Аустенітні високоманганцеві сталі	C	50	ВК150М; ВК8; ТТ10К8Б; Т5К10	ВК8; ТТ10К8А; Т15К6
Аустенітні хромонікелеві сталі	D	40	ВК8; ВК100М	ВК4; ВК6М; ВК8; силініт-Р; ОНТ-20; композит 10
Високохромисті сталі	E	45	Киборит; Т5К10; Т15К6	Киборит; Т30К4; ВК6М; Т1К56; композит 01, 10
Швидкорізальні сталі	F	62	Киборит	Киборит; композит 01, 10; силініт-Р; ОНТ-20; ВОК-71
Хромовольфрамкові чавуни	G	60	ВК3М; ВК6М	Киборит; композит 10; ВК6М; ВК60М
Хромовольфрамкові сталі	H	45	Киборит; ВК8	Киборит; Т15К6; ВК3М; ВК6М; композит 01, 10; силініт-Р
Кобальтові сплави	N	40	Киборит	Киборит; композит 10
Нікелеві сплави	Q <sub>a</sub>	55	Киборит; ВК8; ВК 150М	Киборит; ВК6М; композит 01, 10
	Q <sub>b</sub>	220 НВ	ВК8; ВК 100М	ВК3; ВК6М; ОНТ-20; силініт-Р
Карбідні сплави	P	67	Киборит; АТП; композит 10	Киборит; АТП; композит 10; світлоніт

Таблиця 5.5

## Області застосування інструментальних матеріалів

Марка	ISO	Область застосування
1	2	3
<i>Тверді сплави</i>		
ВК3	K01	Чистове точіння покриттів на основі нікелю, кольорових металів, пластмас, неметалів

Продовження табл. 5.5

1	2	3
ВК3М	К01	Чистове точіння покриттів, які містять абразивні неметалічні вкраплення
ВК4	К20; К30	Чистове точіння при нерівномірній глибині різання покриттів, у тому числі, покриттів на основі Ті
ВК6	К30; К20	Чорнове і напівчистове точіння покриттів на основі нікелю, кольорових металів і полімерних матеріалів
ВК6КС	–	Чорнове точіння зносостійких покриттів по кірці
ВК6М	К10; М10	Напівчистове точіння покриттів на основі нікелю, кольорових металів, неметалевих матеріалів. Обробка покриттів системи Fe-C з малою твердістю при невеликих глибині та швидкості різання
ВК6ОМ	М01; М05 К05	Чистове і напівчистове точіння покриттів на основі Fe, Ni, W, Mo
ВК8	М40; К30 К40	Чорнове точіння при нерівномірній глибині різання та переривчастому різанні покриттів на основі Ті, Ni
ВК10	М40, К50	Чорнове і напівчистове точіння покриттів із порошків корозієстійких сталей, а також Ті-, Та-, Ni-, W-, Мо-сплавів
ВК15ОМ	М50	Точіння з ударними навантаженнями покриттів із порошків корозієстійких сталей, а також Ті-, Ni-, Мо-сплавів
ВК20М	–	Чорнове і напівчистове точіння покриттів на основі Fe в умовах сильних ударних навантажень
Т5К10	Р30	Чорнове точіння при нерівномірній глибині різання і переривчастому точінні по шлаковій кірці та окалині покриттів на основі Fe-C
Т15К6	Р10	Чорнове і напівчистове точіння покриттів на основі Fe-C при безперервному різанні
Т30К4	Р01	Чистове точіння покриттів на основі Fe-C при невеликих глибинах різання
ТТ8К6	М10, К10	Напівчистове точіння покриттів із кольорових металів

Продовження табл. 5.5

1	2	3
ТТ10К8-А	М10	Чистове точіння покриттів із порошків Fe-C, корозієстійких сталей аустенітного класу
ТТ10К8-Б	М20, М30, Р30	Чистове і напівчистове точіння покриттів із порошків Fe-C, корозієстійких сталей аустенітного класу
<i>Мінералокераміка</i>		
ВО-13	—	Тонке, чистове, напівчистове точіння покриттів з порошків конструкційних і легованих сталей твердістю до 160...230 НВ
ВОК-60	—	Тонке і чистове точіння покриттів із порошків сталей твердістю 30...64 НRC
ОНТ-20	—	Тонке, чистове і напівчистове точіння покриттів із порошків сталей твердістю 30...64 НRC, мідних і нікелевих сплавів
Силініт-Р	—	Тонке, чистове і напівчистове точіння покриттів із порошків сталей твердістю 230...380 НВ і нікелевих сплавів
ВЗ	—	Тонке, чистове і напівчистове точіння покриттів із порошків сталей твердістю 30...64 НRC і мідних сплавів
ВОК-71	—	Тонке, чистове, напівчистове точіння покриттів із порошків сталей твердістю 30...64 НRC
<i>Полікристалічні надтверді матеріали</i>		
АТП	—	Точіння покриттів на основі порошків твердих сплавів, сплавів Ti, Cu та Al, полімерних і неметалевих абразивних матеріалів
АСПК, АСБ	—	Тонке точіння покриттів із порошків твердих сплавів і кольорових металів
Світлоніт	—	Чистове точіння покриттів із порошків твердих сплавів
Композит 01	—	Тонке і чистове точіння без ударних навантажень покриттів із порошків на основі Ni, Fe, Co твердістю до 65 НRC, кольорових металів, сталей мартенситного класу твердістю 64 НRC
Композит 02; 02Д	—	Чистове точіння покриттів із порошків на основі Ni, Fe, Co, сталей мартенситного класу твердістю до 64 НRC

1	2	3
Композит 05	—	Тонке точіння покриттів із порошоків на основі Ni, Fe, Co твердістю до 50 HRC, сталей мартенситного класу твердістю до 50 HRC
Композит 09	—	Чистове точіння при нерівномірній глибині різання покриттів із порошоків на основі Ni, Fe, Co, сталей мартенситного класу твердістю до 64 HRC
Композит 10; 10Д	—	Чистове і напівчистове точіння при нерівномірній глибині різання покриттів із порошоків на основі Ni, Fe, Co, порошоків твердих сплавів із вмістом Co > 10%, сталей мартенситного та аустенітного класів
Киборит; КТП	—	Точіння покриттів із порошоків на основі Ni, Fe, Co в умовах переривчастого різання. Точіння наплавлених покриттів по шлаковій кірці, покриттів на основі WC і покриттів типу реліт-мельхіор
Ніборит	—	Чистове точіння покриттів із порошоків на основі Ni, Fe, Co, сталей мартенситного класу твердістю до 55 HRC

## 5.2. Обробка різанням наплавлених і напилених покриттів

Наплавлені та напилені покриття є важкооброблюваними матеріалами. При точінні деталей з покриттями значно складніше одержати однорідну мікрогеометрію поверхні, ніж при обробці литих металів. При обробці покриттів спостерігаються більш низька стійкість інструмента і більш висока температура у зоні різання, а також менший, ніж при обробці литих матеріалів аналогічного хімічного складу, ступінь пластичної деформації оброблюваних матеріалів.

При обробці покриттів різанням утворюється суглобиста стружка або стружка сколювання, на зовнішніх і внутрішніх краях якої виникають вириви та розриви, і відбувається вторинна деформація стружки, що визначає зменшення відносного зсуву та усадки стружки (до 1,1...1,8). Крім того, мають місце значні коливання сил різання і контактних навантажень

на поверхні інструмента. Орієнтовні режими точіння і фрезерування наплавлених покриттів наведені у табл. 5.6.

Таблиця 5.6

Режими точіння і фрезерування наплавлених покриттів

Матеріал покриття	Матеріал інструмента	Режими різання		
		$v$ , м/с	$S$ , мм/об	$t$ , мм
Сплави на Ni-основі (>35 HRC)	Амборит	2,0...2,5	0,25	1,0/1,0
	BZN	1,6...2,6	0,03...0,10	0,5/0,3
Сплави на Ni-основі з вмістом WC	BZN	1,3...1,7	0,08...0,10	0,5/0,2
Сплави на Co-основі (>35 HRC)	Амборит	3,3...4,2	0,25	1,0/1,0
Сплави на Ni-основі (фрезерування)	Амборит	3,7	0,3	0,5/0,5

Примітка: чисельник – для чорнової обробки; знаменник – для чистої

### 5.2.1. Призначення припуску при обробці покриттів

Перехідний шар між основою та покриттям відрізняється за хімічним складом, структурою і властивостями від матеріалу покриття. Верхній шар покриття містить шлаки, абразивні частки, має підвищену пористість. Застосування у таких умовах розрахунково-аналітичного методу визначення необхідної товщини покриття не дозволяє врахувати його якісних показників, тому що не враховується зміна властивостей покриття по його товщині. Це, найчастіше, призводить до того, що шар покриття, призначений для забезпечення необхідного ресурсу роботи, виявляється у перехідній або верхній зоні зі зниженими механічними властивостями.

Забезпечити високі експлуатаційні характеристики деталей з покриттями можна при використанні наступної методики. На пробну заготовку наноситься покриття, а далі проводиться його пошарове видалення. Після видалення кожного шару покриття вимірюються відповідні показники якості поверхні: шорсткість, мікротвердість тощо. На рис. 5.1 представлена зміна шорсткості обробленої поверхні покриття по його товщині. На графіку виділено три області – верхня (I), середня (II) і перехідна (III). Кращими і найбільш стабільними показниками якості

характеризується середня область. Логічно припустити, що саме ця область має і найкращі експлуатаційні характеристики. Таким чином, необхідно, щоб поверхневий шар готової деталі, який безпосередньо визначає ресурс роботи деталі, знаходився у середній зоні (II) покриття. У цьому випадку буде забезпечений максимальний ресурс роботи деталі.

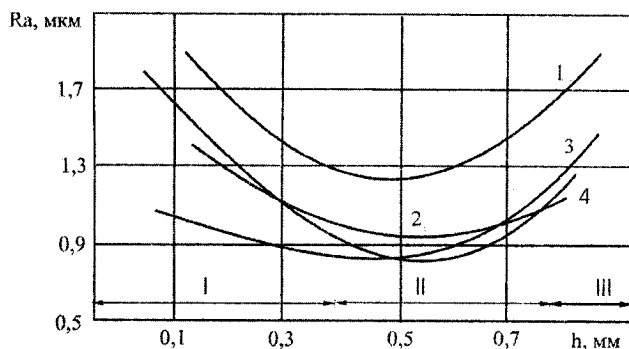


Рис. 5.1. Значення шорсткості поверхні, які досягаються по глибини покриттів (вихідна товщина 1,2 мм): 1 – ПГ-12Н-01; 2 – ПГ-12Н-02; 3 – ПГ-АН9; 4 – ПГ-10Н-01

Для напилених покриттів системи Ni-Cr-B-Si максимальні значення механічних властивостей, зокрема, мікротвердості, спостерігаються на відстані 0,4...0,6 мм від поверхні основи. Тому процес точіння повинен вестися таким чином, щоб із поверхні напиленої деталі видалявся шар покриття з меншою твердістю, а поблизу обробленої поверхні знаходилися шари покриття з підвищеними механічними властивостями. Зокрема, при обробці напиленого покриття ПГ-10Н-01 товщиною 1,2 мм припуск на обробку не повинний перевищувати 0,7 мм. Після зняття цього припуску товщина покриття складатиме 0,5 мм, а його мікротвердість – 8500...9000 МПа.

Визначивши розміри області зі стабільними показниками якості і розмістивши в ній шар покриття, що забезпечує необхідний ресурс роботи деталі з урахуванням розмірів перехідної зони, необхідно скорегувати розміри вихідної заготовки під по-



криття. Після цього можна виготовляти деталі з покриттями під механічну обробку.

У більшості випадків розрахунок технологічних припусків проводиться розрахунково-аналітичним методом із застосуванням довідникових даних. Цей розрахунок проводять після того, як попередньо обрано метод покриття і призначено маршрут механічної обробки поверхні.

Схема призначення загальних і міжопераційних припусків при зміцненні та відновленні деталей наведена на рис. 5.2. На схемі прийняті такі умовні позначення:  $a_{\min}$ ,  $a_{\max}$  – задані розміри, мм;  $b_{\min}$ ,  $b_{\max}$  – розміри деталі після закінчення терміну експлуатації, мм;  $c_{\min}$ ,  $c_{\max}$  – розміри деталі після попередньої механічної обробки перед зміцненням або відновленням, мм;  $d_{\min}$ ,  $d_{\max}$  – проміжні розміри після чорнової механічної обробки, мм;  $l_{\min}$ ,  $l_{\max}$  – вихідні розміри зміцненої або відновленої деталі, мм;  $T_a$ ,  $T_b$ ,  $T_c$ ,  $T_d$ ,  $T_l$  – допуски, відповідно на розміри  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $l$  мкм;  $\Delta_{\min}$ ,  $\Delta_{\max}$  – мінімально та максимально допустимий знос деталі, мм;  $z'_{\min}$ ,  $z'_{\max}$  – мінімальний і максимальний припуски, що знімаються при попередній механічній обробці деталі перед зміцненням або відновленням, мм;  $z''_{\min}$ ,  $z''_{\max}$  – мінімальний і максимальний припуски, що знімаються при чистовій механічній обробці зміцненої або відновленої деталі, мм;  $z'''_{\min}$ ,  $z'''_{\max}$  – мінімальний і максимальний припуски, що знімаються при чорновій механічній обробці зміцненої або відновленої деталі, мм;  $\Delta h_{\min}$ ,  $\Delta h_{\max}$  – мінімальна та максимальна товщина напиленого або наплавленого покриття, мм.

Розрахунок припусків, граничних розмірів за технологічними переходами і товщини покриття виконується у такій послідовності:

1. Виходячи із заданих і її розмірів після спрацювання розмірів деталі, визначаються максимальні та мінімальні величини зносу робочих поверхонь деталі:

$$\begin{aligned} \Delta_{\max} &= a_{\max} - b_{\min}; \\ \Delta_{\min} &= a_{\min} - b_{\max}. \end{aligned} \quad (5.2)$$

2. Для кожного технологічного переходу записують значення  $Rz$ ,  $h$ ,  $\Delta_{\Sigma}$ ,  $\varepsilon$  і  $T_d$ . Величина допуску на розмір  $d$  визначається згідно таблиць у залежності від якості точності.

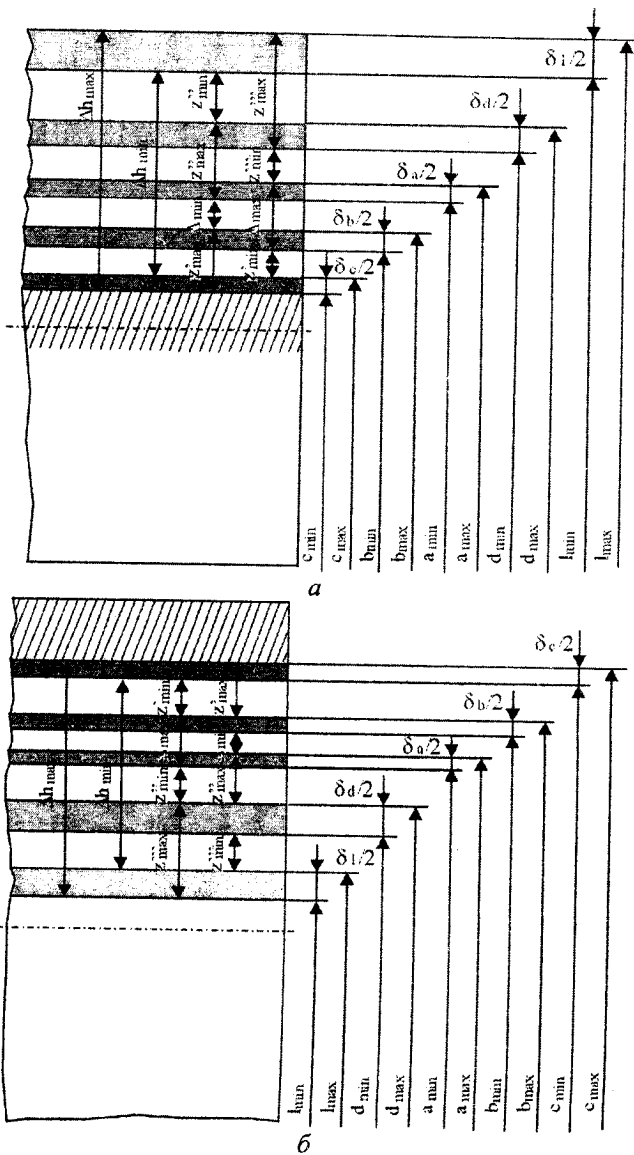


Рис. 5.2. Схема графічного розташування припусків і допусків при зміцненні або відновленні деталі: а – для вала; б – для отвору

3. Після попередньої механічної обробки перед зміцненням або відновленням визначаються припуски та граничні розміри деталі. Відповідно до рис. 5.2 маємо –

для вала:

$$2z'_{\min} = 2 \left[ (R_{zb} + h_b) + \sqrt{\Delta_{\Sigma b}^2 + \varepsilon_c^2} \right]; \quad (5.3)$$

$$c_{\max} = b_{\max} - 2z'_{\min};$$

$$c_{\min} = c_{\max} - T_c,$$

для отвору:

$$2z'_{\min} = 2 \left[ (R_{zb} + h_b) + \sqrt{\Delta_{\Sigma b}^2 + \varepsilon_c^2} \right]; \quad (5.4)$$

$$c_{\min} = b_{\max} - 2z'_{\min};$$

$$c_{\max} = c_{\min} + T_c.$$

Тут і нижче індекси при позначеннях  $Rz$ ,  $h$ ,  $\Delta_{\Sigma}$  і  $\varepsilon$  показують, з урахуванням якості (шорсткості, товщини дефектного шару, просторового відхилення та похибки установки) яких поверхонь необхідно визначити значення цих параметрів.

Знаючи задані розміри деталі, а також величини  $Rz$ ,  $h$ ,  $\Delta_{\Sigma}$  і  $T_d$  за технологічними переходами, розраховують припуски та проміжні розміри деталі при механічній обробці після її зміцнення або відновлення.

4. Визначаються припуски на чистову механічну обробку зміцненої (відновленої) деталі та її граничні розміри після чорнової обробки –

для вала:

$$2z''_{\min} = 2 \left[ (R_{zd} + h_d) + \sqrt{\Delta_{\Sigma d}^2 + \varepsilon_a^2} \right]; \quad (5.5)$$

$$d_{\min} = a_{\max} + 2z''_{\min};$$

$$d_{\max} = d_{\min} + T_d;$$

$$2z''_{\max} = 2z''_{\min} + T_a + T_d,$$

для отвору:

$$2z''_{\min} = 2 \left[ (R_{zd} + h_d) + \sqrt{\Delta_{\Sigma d}^2 + \varepsilon_a^2} \right];$$

$$d_{\max} = a_{\min} + 2z''_{\min};$$

$$d_{\min} = d_{\max} + T_d;$$

$$2z''_{\max} = 2z''_{\min} + T_a + T_d,$$
(5.6)

для вала:

$$2z''_{\min} = 2 \left[ (R_{zd} + h_d) + \sqrt{\Delta_{\Sigma d}^2 + \varepsilon_a^2} \right];$$

$$d_{\min} = a_{\max} + 2z''_{\min};$$

$$d_{\max} = d_{\min} + T_d;$$

$$2z''_{\max} = 2z''_{\min} + T_a + T_d,$$
(5.7)

для отвору:

$$2z'''_{\min} = 2 \left[ (R_{ze} + h_e) + \sqrt{\Delta_{\Sigma e}^2 + \varepsilon_d^2} \right];$$

$$l_{\max} = d_{\min} + 2z'''_{\min};$$

$$l_{\min} = l_{\max} - T_e;$$

$$2z'''_{\max} = 2z'''_{\min} + T_d + T_e.$$
(5.8)

5. Визначаються припуски на чорнову механічну обробку зміцненої (відновленої) деталі та її граничні розміри –

для вала:

$$2z'''_{\min} = 2 \left[ (R_{ze} + h_e) + \sqrt{\Delta_{\Sigma e}^2 + \varepsilon_d^2} \right];$$

$$l_{\min} = d_{\max} + 2z'''_{\min};$$

$$l_{\max} = l_{\min} + T_e;$$

$$2z'''_{\max} = 2z'''_{\min} + T_d + T_e,$$
(5.9)

для отвору:

$$2z'''_{\min} = 2 \left[ (R_{ze} + h_e) + \sqrt{\Delta_{\Sigma e}^2 + \varepsilon_d^2} \right];$$

$$l_{\max} = d_{\min} + 2z'''_{\min};$$

$$l_{\min} = l_{\max} - T_e;$$

$$2z'''_{\max} = 2z'''_{\min} + T_d + T_e.$$
(5.10)

6. Визначається необхідна товщина покриття після напилення або наплавлення –

для вала:

$$2\Delta h_{\min} = l_{\min} - c_{\max}; \quad (5.11)$$

$$2\Delta h_{\max} = l_{\max} - c_{\min},$$

для отвору:

$$2\Delta h_{\min} = l_{\max} - c_{\min}; \quad (5.12)$$

$$2\Delta h_{\max} = l_{\min} - c_{\max}.$$

7. Перевіряється коректність розрахунку припусків на кожному переході і товщина покриття –

$$2z'_{\max} - 2z'_{\min} = T_b + T_c; \quad 2z''_{\max} - 2z'_{\min} = T_d + T_e; \quad (5.13)$$

$$2z'_{\max} - 2z'_{\min} = T_a + T_d; \quad 2\Delta h_{\max} - 2\Delta h_{\min} = T_e + T_c.$$

С урахуванням товщини покриття  $2\Delta h_{\max}$  і  $2\Delta h_{\min}$ , умови перевірки мають вигляд:

$$2z'_{\max} - 2z'_{\min} = T_b + T_c; \quad 2z''_{\max} - 2z'_{\min} = T_d + T_e; \quad (5.14)$$

$$2z'_{\max} - 2z'_{\min} = T_a + T_d; \quad 2\Delta h_{\max} - 2\Delta h_{\min} = T_e + T_c.$$

### 5.2.2. Вибір умов обробки покриттів

Глибина різання є одним із основних параметрів режиму різання. Вона впливає на всі характеристики процесу обробки – силу та температуру різання, знос інструменту, стан обробленої поверхні.

Однак, при точінні покриттів глибина різання менше впливає на процес обробки з наступних причин: її значення обмежується відносно невеликою товщиною покриттів (товщина напилених покриттів складає 0,5...2,0 мм); вона пов'язана виключно з необхідністю забезпечення заданих експлуатаційних властивостей покриттів.

Величини припусків на механічну обробку покриттів залежать від їхньої твердості і товщини. Залежність глибини різання при чорновому та напівчистовому точінні від твердості і товщини газотермічних покриттів, напилених порошками евтектичних нікелевих сплавів ПГ-АН9 (48...55 HRC), ПГ-10Н-01 (55...62 HRC), ПГ-12Н-01 (35...44 HRC), ПГ-12Н-02 (45...54 HRC), отримана за результатами обробки експериментальних даних, має вигляд:

$$(0,54 - 2,45 \cdot 10^{-3} \text{HRC}) h \leq t \leq (0,54 - 2,16 \cdot 10^{-3} \text{HRC}) h, \quad (5.16)$$

де  $h$  – товщина покриття, мм.

Величина подачі при чорновому точінні вибирається з умови максимальної продуктивності процесу. Обмеження подачі пов'язані з міцністю інструментального матеріалу, а також міцністю зчеплення покриттів із основою. При використанні інструментів із ПНТМ чорнова та напівчистова обробка здійснюється при подачі  $S \leq 0,25$  мм/об. Подача при чистовій обробці визначається необхідною шорсткістю обробленої поверхні. Зі збільшенням подачі шорсткість обробленої поверхні монотонно зростає. При використанні інструмента з киборита з циліндричною або конічною передньою поверхнями подачу можна збільшити в 1,4...1,9 рази при досягненні тієї ж шорсткості. При чистовому точінні покриття ПС-12НВК-01 з подачею 0,2 мм/об киборитовим різцем із плоскою передньою поверхнею забезпечується шорсткість поверхні  $Ra$  0,63 мкм, різцем з циліндричною передньою поверхнею –  $Ra$  0,25 мкм.

Різальний інструмент повинен мати негативний передній кут ( $-5^\circ$ )...( $-10^\circ$ ), що дозволяє суттєво підвищити його міцність. Негативний передній кут виконується тільки на фасці шириною 0,2...0,4 мм, а на іншій частині передньої поверхні різця він може дорівнювати нулю. Радіус при вершині різця слід приймати досить великим (0,3...1,0 мм) або виконувати перехідну різальну кромку довжиною 0,2...0,4 мм з  $\phi_0 = 0^\circ$ . Головний кут у плані різця  $\phi$  повинен перевищувати  $30...35^\circ$ , оскільки менші кути у плані обумовлюють наявність значної радіальної сили різання, що, поряд із великою шириною різальної кромки, сприяє появі вібрацій, зниженню точності обробки при недостатній жорсткості технологічної системи.

Зміна величини заднього кута у межах  $5...12^\circ$  практично не впливає на стійкість інструмента, лише його зниження до  $2...4^\circ$  призводить до затирання, зростання площі контакту по задній поверхні і підвищення температури, що негативно позначається на стійкості різців. Збільшення заднього кута більше  $12...15^\circ$  призводить до послаблення різального клина.

Геометричні параметри прохідних різців із композитів 10, 01 та киборита наведені у табл. 5.7. Покриття можна обробляти інструментом, оснащеним непереточуваними круглими або багатогранними пластинами ПНТМ. Геометричні параметри різців із такими пластинами наведені у табл. 5.8.

Таблиця 5.7  
Геометричні параметри прохідних різців із ПНТМ для обробки  
наплавлених і напилених покриттів

Покриття	HRC	Матеріал інструмента	$\varphi$ , град.	$\varphi_1$ , град.	$\alpha$ , град.	$\gamma$ , град.	R, мм	$l_f$ , мм
ЦН-6	30... 35	Композит 10	35	–	15	–5	0,5	–
ЦН-12	30... 35	Композит 10	35	–	15	–5	0,5	–
Нп-30ХГСА	35... 52	Композит 10	40... 45	15... 20	10... 15	–5... –10	0,6... 1,0	0,2
Нп-65Г	42... 54	Композит 10	35... 40	15	10... 15	–15	0,5	–
ПП-Нп 30Х5Г2 СМ	52	Композит 10	35	12... 15	10... 12	–9... –15	0,5	0,3... 0,4 <sup>2</sup>
ПП-Нп 30Х4Г2М	52...6	Киборит	35... 45	15... 20	10... 12	–10... –15	–	0,3... 0,4
ПП-Нп 10Х14Т	56	Композит 10, киборит	45	15	10	–10	–	0,2
ПЛ-АН171	62	Композит 10	36	12	12	–9	0,3	–
ПГ-СРЗ <sup>1</sup>	45... 50	Композит 10	35... 45	12... 15	10... 12	–9... –15	0,5	0,3 <sup>2</sup>
СНГН-55*	56	Композит 10	35... 45	12... 15	10... 12	–9... –15	0,5	0,3 <sup>2</sup>
Нп-65Г	42...4	Композит 10	35... 40	15	10... 15	–15	0,5	–
ПГ-10Н-01 <sup>1</sup>	50... 55	Киборит	35... 45	12... 15	10... 12	–9... –15	0,5	0,3

<sup>1</sup>Напилени покриття, інші – наплавлені. <sup>2</sup>Фаска при  $\varphi_0 = 0^\circ$ .

Таблиця 5.8

Геометричні параметри різців із непереточуваними пластинами  
киборита

Тип різця	Форма пластини	$\varphi$ , град.	$\varphi_1$ , град.	$\alpha$ , град.	$\gamma$ , град.	$R$ , мм
Прохідний	Квадратна	45...60	30...45	7...11	-(7...11)	0,3...0,5
	Кругла	—	—	7...11	-(7...11)	3,5
Підрізний	Ромбічна	90	10	7...11	-(7...11)	0,3...0,5
Розточувальний	Квадратна	45...60	30...45	5...7	-(5...7)	0,3...0,5
	Кругла	—	—	5...7	-(5...7)	3,5

При видаленні найбільш дефектного поверхневого шару покриття з глибиною різання до 2,5 мм різці слід заточувати з переднім кутом  $\gamma = 15...20^\circ$ , причому, більшій твердості оброблюваного матеріалу відповідає менше значення переднього кута.

Оскільки зношування інструмента при точінні покриттів відбувається тільки по задній поверхні, а коефіцієнт тертя інструментального матеріалу по наплавлених і напилених матеріалах приблизно такий же, як і по сталях, для визначення оптимального заднього кута можна скористатися рівнянням:

$$\sin \alpha = \frac{\text{const}}{a_{\max}^k}, \quad (5.17)$$

де  $a_{\max}$  — найбільша товщина зрізуваного шару;  $k$  — показник ступеня, що залежить від типу інструмента та оброблюваного матеріалу.

З огляду на те, що максимальна товщина зрізуваного шару при точінні покриттів зв'язана з величиною подачі, маємо:

$$\sin \alpha = \frac{\text{const}}{S^k \sin^k \varphi_i}, \quad (5.18)$$

де  $\varphi_i$  — головний кут у плані у точці різальної кромки, що відповідає  $a_{\max}$ .

Значення переднього кута інструмента можна визначити за величиною межі міцності при розтязі ( $\sigma_B$ ) оброблюваного матеріалу:

$$-\gamma = 0,22 \cdot 10^{-11} \gamma_g^{5,7}. \quad (5.19)$$



Сучасна технічна література містить вкрай обмежені дані щодо міцності покриттів (особливо, напилених) при розтязі, згині, зсуві. Якщо припустити, що для наплавлених покриттів справедлива залежність

$$\sigma_{\text{в}} = 0,38 \text{ НВ}, \quad (5.20)$$

то для визначення переднього кута різця можна використовувати рівняння

$$-\gamma = 0,89 \cdot 10^{-14} \text{ НВ}^{5,7}. \quad (5.21)$$

Розрахований за цією залежністю передній кут різців для обробки покриттів, наплавлених порошком ПГ-СР4, становить 9...18°. Розсіяння значень переднього кута різців визначається межами зміни твердості покриттів.

Оскільки точіння напилених покриттів має багато спільного з точінням чавунів, орієнтовне значення переднього кута різців для їхньої обробки можна визначити відповідно до рівняння

$$-\gamma = 0,066 \text{ НВ} - 17,2. \quad (5.22)$$

Для газотермічних покриттів системи Ni-Cr-B-Si: ПГ-СР3 –  $\gamma = -(11^\circ \dots 16^\circ)$ ; ПГ-СР4 –  $\gamma = -(19^\circ \dots 25^\circ)$ ; ПГ-10Н-01 –  $\gamma = -(18^\circ \dots 25^\circ)$ .

Зі збільшенням твердості покриттів значення переднього кута інструмента зростає.

У зв'язку з тим, що матеріали покриттів досить крихкі і містять велику кількість часток, міцність з'єднання яких між собою значно менша міцності компактних матеріалів, наявність значного негативного переднього кута призводить до того, що деформація перед інструментом поширюється на значну глибину, викликаючи утворення мікротріщин і полегшуючи процес різання. Наприклад, для обробки покриття ПГ-10Н-01 оптимальним є передній кут  $\gamma = -20^\circ$ , у той час, як для обробки сталей твердістю 60...62 HRC  $\gamma = -(6 \dots 12)^\circ$ .

Як звісно, узагальнена залежність твердості матеріалу від його пористості має від:

$$\chi = \chi_0(1 - Ak)^n, \quad (5.23)$$

де  $\chi$  і  $\chi_0$  – величина твердості відповідно для пористого і безпористого матеріалів;  $A$ ,  $n$  – коефіцієнти, які залежать від форми пор;  $k$  – пористість.

З урахуванням пористості покриттів рівняння (5.21, 5.22) для визначення величини переднього кута різця можна записати у такому вигляді:

для наплавлених покриттів

$$-\gamma = 0,89 \cdot 10^{-14} [HB_0(1 - Ak)^n]^{5,7}, \quad (5.24)$$

для напилених покриттів

$$-\gamma = 0,066 HB_0 (1 - Ak)^n - 17,2, \quad (5.25)$$

де  $HB_0$  – твердість безпористого матеріалу.

Відповідно до рівнянь (5.24) і (5.25) зі збільшенням пористості оброблюваного матеріалу величина оптимального переднього кута інструмента зменшується. Таким чином, залежності (5.21, 5.22) дають завищені значення переднього кута різців без урахування їхньої пористості.

Посилити різальну кромку різця можна шляхом створення на його передній поверхні фаски шириною  $(1,5 \dots 2,0)S$ , при цьому на фасці виконується негативний передній кут  $\gamma_f = \gamma - \gamma_d$ , де  $\gamma_d$  – передній кут на державці різця.

Величину допоміжного кута різця у плані рекомендується вибирати у діапазоні  $5 \dots 20^\circ$  (в залежності від виду різця).

При точінні покриттів може бути використаний як напаяний інструмент, так і різці з механічним кріпленням різальної частини. Застосування паяного інструмента обмежується малими глибинами різання, що пов'язано з технологією паяння та міцністю паяних з'єднань. Різці з механічним кріпленням різального елемента можуть оснащуватися непереточуваними багатогранними пластинами. До них відносяться пластини з киборита круглої, квадратної, ромбічної і трикутної форм. Використання таких пластин певною мірою обмежує діапазон зміни геометричних параметрів різального інструмента.

### 5.3. Стійкість інструмента при точінні покриттів

Найбільш суттєво на стійкість інструмента впливають швидкість різання та подача, від яких залежить температура на контактних поверхнях інструмента. При використанні різців із композита 10 вплив режимів обробки, а особливо – швидкості різання, на їхню стійкість проявляється сильніше, ніж при використанні різців із композита 01. При обробці твердих зносостійких покриттів стійкість різців із ПНТМ перевищує стійкість різців із твердого сплаву Т15К6 у 20...30 разів. При цьому максимально допустима швидкість різання збільшується у 3...4 рази. Стійкість інструмента з композита 10 при чорновому точінні у 2...4 рази нижча, ніж при чистовому.

Вплив подачі на стійкість інструмента неоднозначний. При точінні наплавленого покриття ПП-Нп-30Х4Г2М при швидкості різання 0,5...0,7 м/с збільшення подачі від 0,04 до 0,30 мм/об викликає зростання стійкості інструмента, а при швидкості різання > 1,2 м/с – її зниження (рис. 5.3).

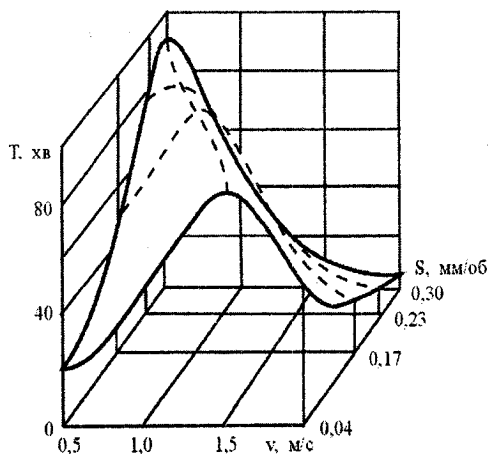


Рис. 5.3. Стійкість інструмента з киборита при точінні наплавленого покриття ПП-Нп-30Х4Г2М ( $t = 0,5$  мм)

Знос інструментів із ПНТМ на основі КНБ істотно залежить від хімічного складу оброблюваного покриття. Наявність у ньому титану, вольфраму та значної кількості хрому різко інтенсифікує знос інструмента внаслідок хімічної взаємодії на контактних дільницях. Спочатку найбільший

знос спостерігається у місці сходу вільного кінця стружки, а потім поширюється на всю головну і, частково, допоміжну різальні кромки. Період зношування у режимі припрацювання складає 5...10 хв.

Зношування інструмента носить комплексний характер, у тому числі, абразивний, адгезійний, дифузійний і хімічний (окисний та евтектичний) механізми.

Зі збільшенням твердості покриття до 58...65 HRC стійкість інструмента з ПНТМ знижується, але ефективність його застосування порівняно з ефективністю використання твердосплавного інструмента зростає.

За критерій затуплення інструмента з композитів 01, 10 та інших ПНТМ приймається величина фаски зносу по задній поверхні  $h_3 = 0,4...0,6$  мм, а в деяких випадках –  $0,6...0,7$  мм. При обробці покриттів на основі твердих сплавів групи ВК для різців із композита 10  $h_3 = 0,20...0,25$  мм, для круглих пластин із амбориту –  $0,4...0,5$  мм, а для пластин іншої форми –  $0,25...0,35$  мм. Для різців із полікристалів киборита при точінні наплавлених і газотермічних оплавлених покриттів  $h_3 = 0,4$  мм, при точінні газополумєневих покриттів Нп-65Г –  $0,6$  мм. Дані про стійкість різців при точінні покриттів, наплавлених дротом ПП-Нп-30Х4Г2М (52...58 HRC), наведені у табл. 5.9.

Таблиця 5.9

Стійкість різців із ПНТМ при точінні покриттів, наплавлених дротом ПП-Нп-30Х4Г2М (52...58 HRC) ( $h_3 = 0,4$  мм)

Матеріал інструмента	$v$ , м/хв	$S$ , мм/об	$t$ , мм	Стійкість $T$ , хв	Умова обробки
Киборит	60	0,11	1,0...1,5	50...60	По кірці
	80	0,11	0,25	87...90	Без кірки
Композит 10	60	0,11	1,0...1,5	15...25	По кірці
	80	0,11	0,25	45...50	Без кірки
Амборит*	80	0,11	0,26	20...25	Без кірки

\*При точінні по шлаковій кірці стійкість 2...3 хв.

При точінні деталей, відновлених вібродуговим наплавленням у середовищі водяної пари та електродотримним приварюванням дроту, стійкість різців із киборита у 1,5 рази перевищує стійкість різців із дрібнозернистих твердих сплавів. При чистовій обробці наплавлених (Нп-30ХГСА, ПП-Нп-30Х5Г2СМ) і напилених (ПГ-СР3, ПГ-СР4, СНГН-55) покриттів стійкість різців із композита 01 та інших композитів на основі КНБ (киборит, ком-

позити 02, 09) відповідає залежності  $T = C_T/v_T$ . Для наплавленого покриття Пп-30ХГСА (38 HRC)  $C_m = 80$ ,  $v_T = 0,58$ ; для покриття ПП-Нп-10Х14Т (52 HRC)  $C_m = 65,4$ ;  $v_T = 1,05$ .

У широкому діапазоні швидкостей різання та подач стійкість інструмента можна визначити за більш складним рівнянням

$$T = K(1 - \delta S + p^3 - \xi S^3)v^n/e^{mv},$$

де  $K$ ,  $p$ ,  $\delta$ ,  $\xi$ ,  $n$ ,  $m$  – емпіричні коефіцієнти.

Для точіння покриттів, наплавлених порошком ПН-77Х15С3Р2 (40...45 HRC) на поршневі пальці ( $l = 100$  мм;  $D = 24$  мм), використовуються вставки з композита 01 із наступними геометричними параметрами:  $\alpha = 12^\circ$ ,  $\gamma = -8^\circ$ ;  $\varphi = 45^\circ$ ;  $\varphi_1 = 16^\circ$ . Для забезпечення роботи без ударних навантажень наплавлені пальці попередньо обробляються різцем до повного усунення нерівностей наплавки. За критерій зношування різців приймається відношення значення  $h_3$  до довжини шляху різання  $L$ . Нижче наведена залежність відношення  $h_3/L$  від параметрів режиму різання:

$$h_3/L = 0,44 - 0,1285n + 0,2183t + 0,0892S - \\ - 0,0641nt - 0,0803nS + 0,0844tS - 0,114ntS.$$

Оптимальні режими різання різцями з композита 01 наплавлених покриттів із порошку ПП-СР2:  $v = 94$  м/хв;  $t = 0,1$  мм;  $S = 0,34$  мм/об.

Для точіння газотермічних покриттів зі сплавів марок ПН-ХН80С3Р3, ПН-ХН80С4Р4 можна використовувати різці з пластинами з безвольфрамових твердих сплавів марок ТН20 і КНТ16 у вихідному стані і зміцнених лазерним випромінюванням (рис. 5.4). Зокрема, для обробки оплавлених покриттів товщиною 2,5...3,5 мм і твердістю 45...55 HRC з нікелевих самофлюсівних сплавів застосовуються токарні збірні прохідні різці, оснащені механічно закріпленими змінними шестигранними пластинами ( $\varphi = 60^\circ$ ). При безперервному зовнішньому точінні деталей тільки по оплавленій поверхні покриття за критерій затуплення інструмента приймається ширина фаски зносу по задній поверхні  $h_3 = 0,4$  мм для пластини зі сплаву марки КНТ16,  $h_3 = 0,35$  мм для пластини зі сплаву ма-

рки ТН20 і  $h_3 = 0,5$  мм для пластини зі сплаву Т15К6. Найменші сили різання спостерігаються при використанні інструмента з пластинами зі сплаву Т15К6, найбільші – зі сплаву КНТ16.

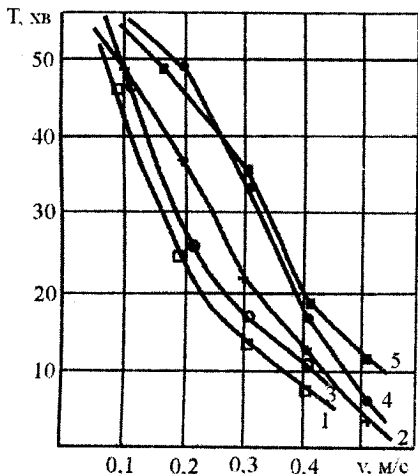


Рис. 5.4. Залежність стійкості різців із пластинами зі сплаву ТН20 у вихідному стані (1) і після зміцнення лазерним випромінюванням (3), сплаву КНТ16 (2, 4), сплаву Т15К6 (5) від швидкості різання при обробці напилених покриттів:  $S = 0,21$  мм/об,  $t = 0,25$  мм

Зміцнення різців здійснюється лазерним променем на установці безперервної дії ЛГН-702 потужністю 800 Вт. Мікротвердість після лазерної обробки збільшується на 2,8...6,0 ГПа на глибині 150...300 мкм за рахунок зміцнення нікелевої фази дрібнодисперсними карбідами молібдену та утворення пересиченого твердого розчину на основі нікелю.

При високих швидкостях різання найбільшу стійкість мають різці з пластинами зі сплаву Т15К6. Приблизно таку ж само стійкість мають різці з пластинами зі зміцненого сплаву КНТ16. Стійкість різців із пластини

з безвольфрамових твердих сплавів після лазерного зміцнення підвищується у 1,6...2,1 рази. При обробці такими різцями рекомендується наступний режим обробки: швидкість різання  $v = 0,12...0,15$  м/с; глибина різання  $t$  до 0,4 мм; подача  $S = 0,20...0,25$  мм/об. Максимальна температура в зоні різання спостерігається при точінні інструментом зі сплаву Т15К6. При точінні різцями з пластинами з безвольфрамових твердих сплавів температура в зоні різання у 2 рази нижче.

#### 5.4. Режими різання при точінні наплавлених і напилених покриттів

Режими різання наплавлених і напилених газотермічних покриттів визначаються твердістю і хімічним складом оброблюваного матеріалу. При чорновому точінні наплавлених покриттів твердістю 42...54 HRC продуктивність обробки різцями з композита 10 і киборита у 1,5...4,0 рази перевищує продуктивність обробки різцями з твердого сплаву Т15К6 і у 2...6 разів – різцями з композита 01. Режими точіння покриттів різцями з композитів 01 і 10 при чорновій і чистовій обробці наведені у табл. 5.10, 5.11, а режими точіння покриттів різцями з кибориту – у табл. 5.12.

У табл. 5.13 наведені орієнтовні режими точіння деяких відновлених деталей металургійного устаткування і автомобілів різцями з ПНТМ, а у табл. 5.14 – деталей з покриттям ПГ-СР4.

Таблиця 5.10

Режими чорнового точіння покриттів різцями з пластинами з композита 10

Матеріал покриття	HRC	v, м/с	S, мм/об	t, мм	Стійкість T, хв
ПЛ-АН171 (100X20P4C3M2)	62	1,8	0,06	0,3	15
ПП-Нп-10X14Т	56	1,5	0,15	1,5	26
СНГН-55 (70Н30X15С4Р3)	56	1,8	0,06	0,25	18
ПП-Нп-30X5Г2СМ	52	1,05	0,09	0,3	30
Нп-12X18Н9Т	35	1,2	0,15	1,0	–

Для відновлення хрестовин карданних шарнірів і сателітів диференціала автомобілів і тракторів, багатьох деталей металообробного устаткування використовується газотермічне напилення з оплавленням порошків ПГ-СР2, ПГ-СР3, ПГ-С1, ПГ-УС25, ПГ-10Н-01, ПГ-12Н-01.

Відновлення також може здійснюватись вібро- та електродуговим напавленням у середовищі CO<sub>2</sub> наплавлювальними дротами Нп-65Г, Нп-30ХГСА. Для обробки покриттів викорис-

товуються різці з кибориту з механічним кріпленням різальної частини (табл. 5.15).

Таблиця 5.11

Режими чистового точіння покриттів різцями з пластинами з композита 01

Матеріал покриття	Твердість, HRC	$v$ , м/с	$S$ , мм/об	$t$ , мм	$Ra$ , мкм
ЦН-6 (08X17H8C6Г)	30...35	1,8...2,5	0,03... 0,05	0,2	1,10... 2,02
ЦН-12 (13X16H8M5C5Г4Б)	30...35	1,8...2,5	0,3... 0,5	0,2	4,3... 5,1
Нп-12X18H9Т	35	2,0	0,075	0,15	0,8
Нп-30ХГСА	48...52	1,5	0,07	0,1	0,3...0,8
ПП-Нп-30Х5Г2СМ	52	1,6	0,075	0,15	0,63
ПП-Нп-10Х14Г	56	1,8	0,15	0,2	1,25
СНГН-55 (70H80X15C4P3)	56	2,4	0,075	0,1	1,25
ПЛ-АН101 (300X25M3H3Г2)	50...56	0,33... 0,80	0,02... 0,10	0,05... 0,15	0,63... 1,25
ПЛ-АН171 (100X20P4C3Г2)	62	2,2	0,06	0,1	0,63

Таблиця 5.12

Режими точіння покриттів різцями з киборита

Матеріал покриття	Твердість, HRC	$v$ , м/с	$S$ , мм/об	$t$ , мм	Стійкість $T$ , хв	$Ra$ , мкм
1	2	3	4	5	6	7
ПП-Нп-18X1Г1М	40... 42	1,5... 2,0	0,15... 0,25	до 2,5	180... 200	1,25... 2,50
Пр-пр (65Г)	40... 45	1,6... 2,0	0,1... 0,3	до 2,5	90...120	0,63... 1,80
ПП-Нп-25Х5ФМС	42... 46	1,5... 2,0	0,10... 0,25	до 2,5	90...120	0,8... 1,5
Нп-Р2М8	45... 48	1,0... 1,2	0,10... 0,26	до 2,0	90...120	0,8... 1,8
ПП-Нп-35В9Х3СФ	44... 50	1,5... 2,0	0,10... 0,25	до 2,5	90...120	0,63... 1,50
ЛС-50Х4В3МФС	46... 50	1,3... 1,6	0,1... 0,2	до 2,0	80...100	0,63... 1,50



1	2	3	4	5	6	7
ЛС-70ХЗНМ	50...	1,0...	0,1...	до 2,0	60...90	0,63...
	54	1,3	0,2			1,50
ПП-Нп-30Х5Г2СМ	52...	1,0...	0,1...	до 1,5	40...50	0,63...
	56	1,2	0,2			1,50
ПП-Нп-30Х2Г2М	52...	1,0...	0,1...	до 1,5	40...60	0,63...
	58	1,2	0,2			1,50
ПЛ-АН111	54...	0,5...	0,10...	до 1,0	40...50	0,8...
	62	0,8	0,15			1,8
Реліт-мельхіор	—	0,15	0,1... 0,5	до 1,5	100... 120	—
ПП-Нп-80Х20Р3Т	60...	0,5...	до 0,3	до 1,5	30...50	—
	65	0,6				
ПГ-СР3	47...	0,7...	0,1...	до 1,5	40...60	0,8...
	52	1,2	0,2			1,8
ПГ-СР4	57...	0,7...	0,1...	до 1,0	40...60	0,8...
	62	1,0	0,15			2,0
ПГ-10Н-01	50...	0,7...	0,1...	до 1,5	40...60	0,8...
	55	1,0	0,2			2,0
ПГ-12Н-01	50...	0,7...	0,1...	до 1,5	40...60	—
	55	1,0	0,2			
Нп-65Г	45...	1,0...	до 0,3	до 2,0	50...80	—
	50	1,5				

Таблиця 5.13

Режими точіння відновлених деталей металургійного устаткування  
і деталей автомобілів

Деталь	Матеріал деталі	Режим різання			Стійкість $T$ , хв	$R_a$ , мкм
		$v$ , м/хв	$t$ , мм	$S$ , мм/об		
1	2	3	4	5	6	7
Ролик ролганга	ЛС-50Х4ВЗМФС*	45...75	до 1,5	0,1... 0,2	60...90	0,7... 1,2
Напрямний ролик	Порошок ПГ-СР4**	60...90	0,5...1	0,1... 0,2	60...70	0,7... 1,2
Тарель ушільнювальна	Реліт-мельхіор*	24...36	0,1...0 ,2	0,1... 0,2	60...70	1,2... 2,5
	ПЛ-АН 111*	36...48	0,2...0 ,3	0,2... 0,25	60...70	1,2... 2,5

Закінчення табл. 5.13

1	2	3	4	5	6	7
Палець реактивної штанги самоскида НД 1200	Порошок ПГ-СР4**	60...75	0,3... 0,8	0,1... 0,2	60...70	0,8... 1,2
Шток підвіски самоскида НД 1200	ПП-Нп-18Х1Г1М*	100... 120	1,5... 2,5	0,18... 0,24	120... 180	0,8... 1,2
Напрямний ролик	Сталь, 58-62 HRC	70...90	0,5... 1,0	0,10... 0,18	60...70	0,8... 1,2
Бочка прокатного валка	Відбілений чавун, 58-62 HRC	70... 100	0,5... 1,0	0,12... 0,15	60...70	0,8... 1,2
Бронь дробарки	Сталь 110Г13Л, 58-62 HRC	35...50	3,0... 6,0	0,18... 0,20	60...90	1,25... 2,50
Завітка, корпус насосу	Чавун ИЧХ28, 58...62 HRC	30...35	до 2,0	0,17... 0,20	80... 100	1,2... 2,5
Кільце підшипника кочення	Сталь 20Х2Н4А, 58...62 HRC	70...90	1,0... 2,0	0,15... 0,18	70...90	0,8... 1,2

\* – наплавка; \*\* – напилення

Таблиця 5.14

## Режими точіння деталей з покриттям ПГ-СР4

Операція	Стан поверхні покриття	Режими різання		
		v, м/с	S, мм/об	t, мм
Точіння	кірка	1,0...1,2	0,15	до 1,5
	основний метал	1,3...1,8	0,1	0,3...0,5
Підрізання торця	кірка	1,0...1,2	0,1	до 1,5
	основний метал	1,3...1,8	0,07	0,3...0,5

У табл. 5.16 приведені геометричні параметри інструмента і параметри режиму різання при точінні відновлених деталей кар'єрного самоскида НД1200.

Таблиця 5.15

## Режими обробки хрестовин

Спосіб нанесення покриття	$v$ , м/с	$S$ , мм/об	$t$ , мм
Напилення порошком:			
ПГ-10Н-01	0,7...1,0	0,10...0,15	0,5...1,5
ПГ-12Н-01	1,0...1,5	0,10...0,20	0,5...1,5
ПГ-СРЗ	0,8...1,6	0,10...0,20	0,5...1,5
Наплавлення дротом Нп-65Г	1,5...2,0	0,10...0,25	0,5...2,0

Таблиця 5.16

Геометричні параметри інструмента і параметри режиму різання при обробці деталей самоскида НД 1200 (наплавка ПП-Нп-18Х1Г1М)

Оброблювана деталь	$\varphi$ , град.	$v$ , м/с	$S$ , мм/об	$t$ , мм
Шток підвіски	35...45	1,4...1,6	0,15...0,25	до 2,0
Напіввісь двигун-колесо	35...45	1,4...1,6	0,15...0,25	до 2,0
Торсіонний вал	35...45	1,4...1,6	0,15...0,25	до 2,0
Палець реактивної тяги	30...40	1,4...1,6	0,07...0,15	до 2,0
Гальмівний барабан	40...60	1,6...2,0	0,15...0,25	до 2,5

Примітка: Постійні геометричні параметри інструмента:  $\alpha = 10...12^\circ$ ;  $\gamma = -(5...10)^\circ$ ;  $\varphi_1 = 15...20^\circ$ ;  $R = 0,3...0,5$  мм.

### 5.5. Обробка гальванічних покриттів

Обробка гальванічних покриттів лезовим інструментом застосовується рідко, в основному, для покриттів із електролітичної сталі. Обробку відновлених поверхонь здійснюють різцями з твердих сплавів марок ВКЗ, ВКЗМ, ВК60М, Т30К4 і ПНТМ (табл. 5.17). Особливість даних покриттів полягає у тому, що вони насичені гідрооксидом заліза, причому, у м'яких покриттях вміст гідрооксиду значно більший, ніж у твердих.

Таблиця 5.17

Режими різання поверхонь, відновлених залізненням

Матеріал інструмента	$v$ , м/с	$S$ , мм/об	$t$ , мм	$Ra$ , мкм
Тверді сплави	0,6...0,7	0,2	0,15...0,20	1,25...2,50
Композити 01, 10	1,4...2,0	0,020...0,085	0,1...0,3	0,4...0,6

Серед інструментів із твердих сплавів груп ВК, ТК і ТТК найбільшу стійкість мають різці зі сплаву Т30К4 (22 хв.). При використанні в якості ЗОТС масла індустріального-20 стійкість інструмента зростає до 30 хв. Стійкість інструмента з композита 10 становить 60...90 хв. Рекомендуються наступні геометричні параметри інструмента:  $\alpha = 7...10^\circ$ ;  $\gamma = -(2...6)^\circ$ ;  $\varphi = 45...60^\circ$ ;  $\varphi_1 = 10...15^\circ$ ;  $R = 0,2...0,8$  мм.

## 5.6. Фрезерування та інші операції обробки деталей з покриттями

Точіння – основний вид обробки наплавлених і напилених поверхонь. Інші види обробки – фрезерування, свердління, зенкування, розвертання тощо знайшли істотно менше застосування.

**Фрезерування.** При торцевому фрезеруванні наплавлених матеріалів для чорнової обробки використовуються фрези з різальними елементами з твердих сплавів, а для чистової обробки – фрези з різальними елементами з твердих сплавів із підвищеною міцністю на згин або з ПНТМ. При цьому використовуються інструменти з як можна більшою кількістю зубів, що дозволяє зменшити подачу на зуб при високій продуктивності процесу обробки.

Кутовий крок між зубами повинен бути нерівномірним. Для обробки наплавлених матеріалів із великими макронерівностями доцільно застосовувати фрези зі східчастим розташуванням зубів, коли зуби першого ступеня розташовані на меншій висоті відносно зубів другого ступеня. Це дозволяє зубам першого ступеня сприймати ударні навантаження окремих виступаючих фрагментів наплавленого матеріалу. Зуби другого ступеня будуть обробляти порівняно рівномірний за висотою шар наплавленого матеріалу, і їхня стійкість буде підвищена.

У зв'язку зі змінними навантаженнями, які виникають через неоднорідність матеріалів покриттів, зубам торцевих фрез слід надавати великі кути нахилу головної різальної кромки ( $\lambda = 15...20^\circ$ ). Експерименти, виконані при обробці наплавленого матеріалу 25X10Г10Т (220...260 НВ), показали, що для фрезерування метастабільних аустенітних сталей доцільно використовувати

вати чотиризубі фрези з різцями з твердого сплаву ВК8. Обробка проводиться при наступних режимах різання і геометричних параметрах інструмента:  $v = 55 \dots 60$  м/хв;  $S = 0,043 \dots 0,048$  мм/зуб;  $t = 5$  мм;  $R = 0,85 \dots 1,00$  мм;  $\varphi = 86^\circ$ ;  $\varphi_1 = 10^\circ$ . Стійкість фрез із різальною частиною зі сплаву ВК8 значно вища, ніж у фрез із різальною частиною з твердого сплаву Т5К10. При використанні твердого сплаву ВК8 замість сплаву Т5К10 на 12...15 % зменшується шорсткість обробленої поверхні покриттів.

Дослідження торцевого фрезерування наплавлених покриттів ПП-Нп-10Х14Т і ПП-Нп-30Х5Г2СМ (50...56 HRC) інструментами, оснащеними різальними вставками з композита 10, показали, що критерієм затуплення інструмента є ширина фаски зносу по задній поверхні 0,4 мм. Збільшення зносу фрези вище зазначеної межі призводить до руйнування різальних елементів і робить подальшу експлуатацію фрез практично неможливою.

Ефективність чорнового торцевого фрезерування наплавлених матеріалів може бути збільшена за рахунок застосування ротаційних фрез. Вони відрізняються від звичайних фрез тим, що різальна кромка кожного круглого зуба під час різання повертається на невеликий кут за рахунок дії тангенційної складової сили різання. При цьому у будь-яку мить у процесі різання бере участь нова частина різальної кромки зуба, в результаті чого різко збільшується стійкість інструмента.

Крім торцевого фрезерування у промислових умовах на наплавлених деталях обробляються шпонкові пази та елементи шлицевих з'єднань. Для такої обробки застосовуються дискові фрези, пазові гострозаточені фрези, затиловані пазові фрези, шпонкові фрези, хвостові і насадні фрези з різальними елементами зі швидкорізальних сталей і твердих сплавів для обробки пазів під сегментні шпонки.

Особлива увага приділяється тому, щоб покриття у канавці не було прорізане наскрізь.

В залежності від виду оброблюваних поверхонь, властивостей і складу наплавлених матеріалів застосовуються фрези, які відрізняються конструкцією та можливими оптимальними режимами різання (табл. 5.18).

Обробка фрезеруванням деталей з покриттями, отриманими металізацією (електродуговим напилюванням), застосовується

ся рідко. Фрезеруванню піддаються пластичні покриття твердістю до 40...45 HRC з маловуглецевих сталей і нікелевих та кобальтових самофлюсівних сплавів.

Фрезерування напилених покриттів із нікелевих та кобальтових самофлюсівних сплавів інструментом, оснащеним різальними пластинами на основі КНБ, здійснюється без застосування ЗОТС і дозволяє одержати поверхню із шорсткістю  $Ra$  0,63...2,50 мкм без мікротріщин і припеків.

Для фрезерування кулачків розподільних валів з покриттями, наплавленими порошком ПП-СР4, розроблено дискові і торцеві фрези з різальними елементами круглої форми діаметром 7 мм із киборита. Обробка проводиться на модернізованому токарно-затилувальному верстаті з використанням гідрокопіювального супорта.

Обробка покриттів із стелітів інструментами з різальними елементами з амборита здійснюється при  $v = 3,7$  м/с;  $S = 0,3$  мм/зуб;  $t = 0,5$  мм.

У зв'язку з тим, що сплави на основі кобальта мають дуже високу жароміцність, їхня обробка фрезеруванням значно складніша, ніж сплавів на Ni-основі. Через це у літературі практично відсутні дані з фрезерування Со-сплавів.

Прикладом обробки відновлених зубчастих коліс є фрезерування торців зубів, наплавлених дротом Нп-30ХГСА (табл. 5.19). Обробка здійснюється спеціальними черв'ячними фрезами з механічним кріпленням різальних елементів із швидкорізальної сталі Р5М6 або дрібнозернистого твердого сплава ВК6М.

При високій твердості наплавлених матеріалів стійкість твердосплавних черв'ячних фрез у кілька десятків разів перевищує стійкість фрез із швидкорізальної сталі. Однак переточуванню вони не підлягають через відколи лез.

У великогабаритних зубчастих коліс діаметром 5...10 м площа оброблюваної напавленої поверхні у 200...300 разів більша, ніж у коліс коробок передач. У таких коліс величина зношеного шару на поверхні зубів знаходиться у діапазоні 4...12 мм.

Напавлення покриттів здійснюється матеріалами 25Х10Г10Т і 25ХГСЮТ. Після обробки фрезеруванням твердість їх поверхні збільшується на 80...100 %.

Таблиця 5.18

## Режими різання при фрезеруванні наплавлених матеріалів

Наплавлений матеріал	Торцеве фрезерування			Фрезерування шпонкових пазів			Фрезерування шлицевих пазів		
	v, м/с	S, мм/об	t, мм	v, м/с	S, мм/об	t, мм	v, м/с	S, мм/об	t, мм
Нп-Св08	2,0... 2,5	0,05... 0,20	1,0... 2,0	1,5... 1,8	0,15... 0,18	3,0... 5,0	0,5... 0,6	0,08... 0,10	3,0... 5,0
	2,0... 2,5	0,06... 0,12	0,2... 0,4	0,3... 0,4	0,08... 0,12	—	—	—	—
Нп-У8А	1,8... 2,4	0,05... 0,20	1,0... 2,0	1,2... 1,6	0,15... 0,18	3,0... 5,0	0,4... 0,5	0,06... 0,08	3,0... 5,0
	1,8... 2,2	0,05... 0,10	0,2... 0,4	0,3... 0,4	0,08... 0,12	—	—	—	—
Нп-30ХГСА	2,0... 2,6	0,05... 0,10	1,0... 2,0	0,8... 1,2	0,10... 0,12	3,0... 5,0	0,3... 0,4	0,04... 0,05	3,0... 5,0
	1,5... 2,0	0,04... 0,08	0,2... 0,4	0,2... 0,3	0,05... 0,10	—	—	—	—
Нп-12Х18Н9Т	2,0... 2,6	0,05... 0,10	1,0... 2,0	0,8... 1,2	0,10... 0,12	3,0... 5,0	0,2... 0,4	0,04... 0,05	3,0... 5,0
	1,5... 2,0	0,04... 0,08	0,2... 0,4	0,2... 0,3	0,05... 0,10	—	—	—	—
Пп-Нп-25Х5ФМС	1,5... 2,0	0,05... 0,10	0,8... 1,5	0,6... 0,8	0,08... 0,10	2,0... 4,0	0,2... 0,3	0,04... 0,05	2,0... 4,0
	1,2... 1,6	0,03... 0,06	0,1... 0,3	0,2... 0,3	0,04... 0,06	—	—	—	—
Пп-Нп-10Х14Т	1,5... 0,05	0,05... 0,10	0,8... 1,5	0,6... 0,8	0,08... 0,10	2,0... 4,0	0,15... 0,20	0,02... 0,04	2,0... 4,0
	1,2... 0,6	0,03... 0,06	0,1... 0,3	0,15... 0,20	0,02... 0,04	—	—	—	—
Пп-Нп-30Х5Г2СМ	1,3... 0,6	0,05... 0,10	0,8... 1,5	0,6... 0,8	0,06... 0,08	2,0... 4,0	0,10... 0,15	0,02... 0,04	2,0... 4,0
	1,1... 0,3	0,02... 0,04	0,1... 0,3	0,15... 0,20	0,02... 0,04	—	—	—	—
Пп-Нп-250Х10Б8С2Т	1,2... 0,5	0,05... 0,10	0,8... 1,5	0,8... 1,0	0,06... 0,08	2,0... 4,0	0,10... 0,15	0,02... 0,04	2,0... 4,0
	1,2... 0,5	0,02... 0,04	0,08... 0,20	0,18... 0,25	0,02... 0,04	—	—	—	—
Нп-65Г	1,2... 0,5	—	0,8... 1,5	0,5... 0,6	0,06... 0,08	2,0... 4,0	0,10... 0,15	0,02... 0,04	2,0... 4,0
	1,0... 0,2	0,02... 0,03	0,08... 0,20	0,13... 0,15	0,02... 0,04	—	—	—	—

Примітка: 1. Режими торцевого фрезерування: чисельник – чорнова обробка фрезами з твердого сплаву Т15К6; знаменник – чистова обробка фрезами з композита 10; 2. Режими фрезерування шпонкових пазів: чисельник – фрези з твердого сплаву Т15К6; знаменник – фрези із швидкорізальної сталі Р18; 3. Режими фрезерування шлицевих пазів фрезами із швидкорізальної сталі Р18

## Показники зубофрезерування наплавлених зубчастих коліс

Показники	Матеріал інструмента			
	P5M6		BK6M	
	твердість наплавленого матеріалу, НВ		твердість наплавленого матеріалу, НВ	
	320...360	250...290	320...360	250...290
Швидкість різання, м/хв	25	25	62	80...125
Осьова подача деталі, мм/об	1	1	2	0,75...1
Стійкість, шт	1	30...50	36...40	130...150
Час обробки одного колеса, хв	–	21,4	9,3	9,3
Кількість переточувань інструмента, шт	10	12	–	11...15
Розрахункова кількість коліс, нарізаних за період амортизації, шт	–	400	–	2000...2300

Поверхня профілю зуба після наплавлення та механічної обробки має значний перепад твердості – з однієї сторони профіля зуба, де залишився основний метал (сталь 45Л), твердість складає 217...238 НВ, а з напавленої сторони – 305...404 НВ. Перепади твердості сприяють появі крутильних і радіальних коливань при зубофрезеруванні, що знижує як продуктивність обробки, так і стійкість інструментів. Обробка таких деталей найбільш ефективна при використанні твердосплавного інструмента. Напавлений матеріал при фрезеруванні не утворює на поверхні твердосплавного інструмента наросту. Це явище дозволяє вести обробку у широкому діапазоні швидкостей різання, а максимальна швидкість різання обмежується лише появою вібрацій.

Важливим є те, що при обробці твердосплавними черв'ячними фрезами відкол одного зуба веде до інтенсифікації руйнування наступних зубів інструмента. Тому для того, щоб



можна було видалити або перемістити дефектний зуб фрези, інструменти бажано робити збірними.

Геометричні параметри фрез повинні забезпечувати плавність входу і виходу фрези при різанні.

Обробка по зовнішньому діаметру і профілю зуба проводиться на зубофрезерному верстаті з однієї установки комплектом фрез у наступній послідовності: обробка по зовнішньому діаметру циліндричною фрезною; фрезерування профіля комплектом дискових кутових фрез.

**Нарізання різи.** Основною особливістю процесу нарізання різи на наплавлених деталях є складність видалення тонкого шару матеріалу по складному і точному трикутному (або іншому профілю), що може призвести до зриву витків різи, руйнування різальних кромek інструмента або до поломки його корпусу. Для нарізування різи на покриттях використовуються різці із швидкорізальних сталей, твердих сплавів і ПНТМ.

Різові різці із швидкорізальних сталей застосовуються для нарізування різи при низьких швидкостях різання на деталях, наплавлених матеріалами низької твердості. Різові різці з твердих сплавів із високою межею міцності на згин дозволяють обробляти деталі, наплавлені матеріалами високої твердості. Різці, оснащені ПНТМ, успішно використовуються для нарізання зовнішніх та внутрішніх різей на наплавлених покриттях і мають високу стійкість при підвищеній продуктивності процесу та високій якості обробленої поверхні різи.

Геометричні параметри інструментів для нарізання різи наведені у табл. 5.20.

Таблиця 5.20

Геометричні параметри\* різевих різців

Матеріал інструмента	Вид різи	$\alpha$ ( $\alpha_1$ ), град.	$\gamma$ , град.	$f$ , мм	$\gamma_f$ , град.
Твердий сплав (Т15К6, ВК6-ОМ)	зовнішня	8...9	10...15	0,1...0,2	-5
	внутрішня	10...12	10...15	0,1...0,15	0
Композит 10	зовнішня, внутрішня	5	0	-	-

\*  $\lambda = 0^\circ$

Для збільшення стійкості різевих різців при нарізанні різи на наплавлених покриттях застосовується інтенсивне охолодження п'ятивідсотковою емульсією або водними розчинами полімерних з'єднань. При цьому продуктивність процесу можна збільшити на 25...30 % і поліпшити якість обробленої поверхні.

Поперечна подача (на хід) інструмента при нарізанні різи залежить від типу інструментального матеріалу:

швидкорізальні сталі – 0,2...0,4 мм;

тверді сплави – 0,4...0,5 мм;

ПНТМ – 0,15...0,25 мм.

Нарізання різи на наплавлених покриттях різевими головками і гребінками не рекомендується через те, що велика об'ємна деформація відносно крихкого матеріалу не дозволяє одержати якісну різь. З тієї ж самої причини не використовується накатування і розкатування різи.

Застосування різевих фрез із швидкорізальних сталей у ремонтному виробництві обмежене обробкою наплавлених матеріалів низької твердості. Швидкість різання при зубофрезеруванні вибирається з урахуванням структурної неоднорідності наплавленого матеріалу і необхідної стійкості інструмента.

Зовнішні і внутрішні різи на наплавлених деталях можуть нарізатися також плашками (швидкорізальна сталь Р10К5Ф5) і мітчиками (швидкорізальні сталі Р9Ф5, Р18, тверді сплави ВК6М, ВК6ОМ). Нарізування різи рекомендується проводити на малих швидкостях різання  $v = 3...5$  м/хв з обов'язковим змащуванням (полімерна рідина типу МХО-64А та ін.).

**Свердління, зенкерування, розвертання.** Самим складним способом обробки наплавлених покриттів є свердління, що пов'язано з різними умовами роботи фрагментів різальної частини інструмента внаслідок структурної неоднорідності оброблюваного матеріалу та особливостей кінематики процесу.

У більшості випадків при свердлінні наплавлених покриттів застосовуються інструменти із швидкорізальних сталей з високим вмістом вольфраму (Р18, Р12, Р9К5) і твердих сплавів групи ВК. При свердлінні покриттів слід вибирати свердла з великою довжиною перемички, а потім виконувати її підточування з плавним переходом від поверхні підточування до поверхні канавки свердла. Для поліпшення відводу тепла із зони різання

необхідно також виконувати підточування циліндричної стрічки, залишаючи її оптимальну величину 0,25...0,40 мм на довжині 2...4 мм під допоміжним кутом 6...8°. Зворотну конусність на свердлі рекомендується збільшувати до 0,10...0,15 мм на довжині робочої частини свердла.

Величину подвійного заднього кута у плані доцільно збільшувати до 140°. Для поліпшення відводу тепла і підвищення стійкості свердл рекомендується виконувати подвійне заточування вершини свердла з утворенням додаткового подвійного кута 70...80° на довжині інших головних різальних кромки  $l_0 = 0,2d$ , де  $d$  – діаметр свердла, мм. Головні задні кути у свердлі слід збільшувати до 13...15° по середньому діаметру. Передні кути будуть змінюватись зі зміною кута нахилу гвинтових канавок:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{d \operatorname{tg} \omega}{\sin \varphi},$$

де  $\omega$  – кут нахилу гвинтових канавок, град.

Величина кута нахилу гвинтових канавок залежить від типу оброблюваного матеріалу (табл. 5.21).

Таблиця 5.21

Значення кутів  $\omega$  для свердління наплавлених покриттів

Матеріал покриття	Позначення Міжнародного інституту зварювання	$\omega$ , град.
Низьколегована сталь, $C < 0,4 \%$	A	25...30
Низьколегована сталь, $C > 0,4 \%$	B	25...30
Аустенітні високоманганцеві сталі	C	25...30
Аустенітні хромисті сталі	D	25...30
Хромисті сталі	E	25...30
Швидкорізальні сталі	F	10...15
Высокохромисті спеціальні сталі	G	10...15
Хромовольфрамкові сталі	H	10...15
Кобальтові сплави	N	10...15
Нікелеві сплави з хромом і бором	Q <sub>a</sub>	30...35
Нікелеві сплави з молібденом	Q <sub>b</sub>	30...35
Карбідні сплави	P	10...15

Величину нахилу поперечної різальної кромки слід вибрати у межах  $\psi = 55...60^\circ$ .

Свердління необхідно виконувати із застосуванням ЗОТС, витрати якої повинні збільшуватися зі збільшенням швидкості різання, подачі та глибини свердління. Оптимальні режими свердління наплавлених покриттів наведені у табл. 5.22.

Таблиця 5.22  
Режими свердління наплавлених покриттів свердлами із швидкорізальної сталі P18

Наплавлений матеріал	Діаметр свердління, мм					
	3...5		8...10		15...20	
	$v$ , м/с	$S$ , мм/об	$v$ , м/с	$S$ , мм/об	$v$ , м/с	$S$ , мм/об
Нп-Св08	0,55	0,1	0,6	0,13	0,65	0,18
Нп-У8А	0,5	0,1	0,5	0,13	0,6	0,18
Нп-30ХГСА	0,45	0,08	0,45	0,11	0,5	0,15
Нп-12Х18Н9Т	0,45	0,08	0,45	0,11	0,5	0,15
Нп-25Х5ФМС	0,4	0,06	0,4	0,1	0,45	0,13
ПП-Нп-10Х14Т	0,4	0,06	0,4	0,1	0,45	0,13
Нп-30Х5Г2СМ	0,36	0,04	0,36	0,08	0,4	0,1
ПП-Нп-250Х10Б8С2Т	0,4	0,06	0,4	0,1	0,4	0,15
Нл-65Г	0,3	0,04	0,3	0,06	0,3	0,08

Для остаточної обробки отворів у наплавлених деталях застосовуються зенкерування та розвертування. При обробці отворів з наплавленими покриттями діаметром більше 30 мм використовуються тврдосплавні зенкери. Отвори меншого діаметра обробляються інструментом із швидкорізальних сталей з високим вмістом вольфраму. Режими різання при зенкеруванні залежать від властивостей і складу оброблюваного покриття, а також від ступеня його структурної неоднорідності (табл. 5.23).

Розвертування дозволяє одержати отвори 6...7 квалітетів точності і шорсткість обробленої поверхні  $Ra$  0,32...1,25 мкм. Припуск при розвертуванні отворів у наплавлених деталях може бути розділений на дві частини: під чорнове розвертування 0,15...0,50 мм і під чистове – 0,05...0,15 мм. Число зубів розвертки визначається за залежністю

$$Z = 1,5\sqrt{d} + K_m,$$

де  $K_m$  – коефіцієнт, який враховує вид наплавленого матеріалу. Для пластичного матеріалу  $K_m = 2$ , для крихкого  $K_m = 4$ .

Таблиця 5.23  
Режими обробки наплавлених покриттів зенкерами  
із швидкорізальної сталі P18

Наплавлений матеріал	Діаметр обробки, мм			
	10...20		20...30	
	$v$ , м/с	$S$ , мм/об	$v$ , м/с	$S$ , мм/об
Нп-Св08	0,6...0,7	0,4...0,6	0,7...0,8	0,6...0,8
Нп-У8А	0,55...0,60	0,4...0,6	0,6...0,7	0,6...0,8
Нп-30ХГСА	0,50...0,55	0,35...0,45	0,55...0,60	0,45...0,55
Нп-12Х18Н9Т	0,50...0,55	0,35...0,45	0,55...0,60	0,45...0,55
Нп-25Х5ФМС	0,45...0,50	0,3...0,4	0,50...0,55	0,4...0,5
ПП-Нп-10Х14Т	0,45...0,50	0,25...0,30	0,50...0,55	0,3...0,4
Нп-30Х5Г2СМ	0,40...0,45	0,20...0,25	0,45...0,50	0,25...0,30
ПП-Нп-250Х10Б8С2Т	0,35...0,40	0,3...0,4	0,40...0,45	0,4...0,5
Нл-65Г	0,30...0,35	0,35...0,40	0,35...0,40	0,20...0,25

Примітка: ЗОТС – водні емульсії і водні розчини полімерних з'єднань.

На відміну від стандартних розверток (кут нахилу канавок  $\omega = 0^\circ$ ), розвертки для обробки наплавлених матеріалів виконуються з кутом нахилу канавок  $\omega = 10...15^\circ$ . У розвертках із твердого сплаву при вершині рекомендується виконувати подвійне заточування з кутами у плані  $2\varphi = 60...90^\circ$  і  $2\varphi = 10...15^\circ$ .

При розвертуванні за технологічний критерій затуплення приймається вихід розміру обробленого отвору за межі допуску або збільшення шорсткості обробленої поверхні вище необхідної.

## 5.7. Ефективність застосування інструмента, оснащеного ПНТМ, в ремонтному виробництві

Ефективність застосування різців із ПНТМ при точінні покриттів підвищується зі збільшенням твердості покриттів, а також при обробці безпосередньо по шлаковій кірці. Вона може бути оцінена за коефіцієнтом порівняльної ефективності, яка є відношенням величин відносних зносів інструментів із твердого сплаву і ПНТМ (табл. 5.24):

$$K_1 = \psi_{\text{тс}} / \psi_{\text{ПНТМ}},$$

де  $\psi$  – відносний знос різця за одиницю часу і на одиницю продуктивності;  $\psi = h_3 / QT$  ( $h_3 = 0,4$  мм;  $Q$  – продуктивність обробки, мм<sup>3</sup>/хв;  $T$  – стійкість інструмента, хв).

Таблиця 5.24  
Результати досліджень ефективності застосування різців при точінні покриттів

Матеріали покриттів (твердість)	Матеріали інструментів	$Q$ , мм <sup>3</sup> /хв	$T$ , хв	$\psi$ , мм/мм <sup>3</sup>	$K$
Нп-65Г <sup>1</sup>	Т15К6	4675	6	$1,4 \cdot 10^{-5}$	25,4
	Киборит	12375	60	$5,5 \cdot 10^{-7}$	
Нп-65Г <sup>2</sup> (48...52HRC)	Т15К6	1100	10	$3,6 \cdot 10^{-5}$	22,1
	Киборит	6050	40	$1,65 \cdot 10^{-6}$	
ПГ-10Н-01 <sup>3</sup> (50...55 HRC)	Т15К6	1100	5	$7,3 \cdot 10^{-5}$	24,3
	Киборит	2200	60	$3,0 \cdot 10^{-6}$	
ПГ-СРЗ <sup>3</sup> (45...50 HRC)	Т15К6	1100	7	$7,2 \cdot 10^{-5}$	17,3
	Киборит	2200	60	$3,0 \cdot 10^{-6}$	
ПП-Нп-35В9ХЗСФ <sup>4</sup> (46...50 HRC)	Т15К6	2200	15	$1,2 \cdot 10^{-6}$	24,2
	Киборит	6600	120	$5,0 \cdot 10^{-7}$	
ЛС-50Х4ВЗМФС <sup>4</sup> (50...54 HRC)	Т15К6	2200	10	$1,8 \cdot 10^{-5}$	36,0
	Киборит	6600	120	$5,0 \cdot 10^{-7}$	
ПП-Нп-18Х1Г1М <sup>4</sup> (38...42 HRC)	Т15К6	1375	40	$7,3 \cdot 10^{-6}$	16,2
	Киборит	4960	180	$4,5 \cdot 10^{-7}$	

1 – вібродугове наплавлення; 2 – газополуменеve напилювання; 3 – газополуменеve напилювання з оплавленням; 4 – електродугове наплавлення під флюсом

Коефіцієнт  $K$  враховує зміну ефективності застосування інструментів із різних матеріалів як за рахунок продуктивності обробки, так і стійкості. Таким чином, він характеризує собівартість обробки при використанні інструментів із різних матеріалів. Вартість інструмента не враховується.

Швидкість різання при точінні хромомолібденокремнійванадієвих і хромовольфрамових наплавлених покриттів різцями зі сплаву марки ВК8 не перевищує 20 м/хв.

Застосування різців, оснащених пластинами з композита 10 і киборита, значно підвищує ефективність їхньої обробки. Різцями з киборита чорнове точіння наплавлених покриттів ПП-Нп-35В9Х3СФ може проводитись із глибиною різання 2 мм, подачею 0,1 мм/об і швидкістю різання 65 м/хв. При цьому стійкість різців складає 60 хв. Різцями з композита 10 чорнова обробка наплавлених покриттів може проводитись при  $v = 35$  м/хв,  $S = 0,1$  мм/об,  $t = 1$  мм. Стійкість різців – 40 хв.

Для чистової обробки використовуються різці з наступними геометричними параметрами:  $\alpha = 8^\circ$ ;  $\gamma = 16^\circ$ ;  $\varphi = 30^\circ$ ;  $\varphi_1 = 15^\circ$ . Обробка забезпечує шорсткість наплавлених поверхонь  $Ra$  0,91...4,78 мкм. Її величина визначається за залежністю:

$$Ra = K + 0,328S - 0,58R - 0,234SR,$$

де  $K_1$  – коефіцієнт, який залежить від типу інструментального і наплавленого матеріалів; ( $R$  – радіус при вершині різця ( $R = 0,1...1,5$  мм);  $S = 0,1...0,2$  мм/об).

При точінні покриттів ПП-Нп-35В9Х3СФ різцями з композита 10 і киборита значення  $K_1$  дорівнює відповідно 2,306 і 1,488, а при точінні покриттів ПП-Нп-25Х5ФМС – 1,788 і 1,462.

Шорсткість поверхні покриттів, оброблених різцями з киборита, приблизно на 40 % менша за шорсткість поверхні покриттів, оброблених різцями з композита 10.

Традиційний твердосплавний інструмент не забезпечує необхідних продуктивності ( $v \leq 20$  м/хв) і якості механічної обробки газотермічних зносостійких покриттів. Абразивне шліфування покриттів малопродуктивне і супроводжується підвищеним зносом інструмента.

Суттєві переваги металорізального інструмента з надтвердих матеріалів у порівнянні з інструментом із твердих сплавів або мінералокераміки проявляються також при обробці зносостійких газотермічних покриттів із самофлюсівних нікелевих сплавів (табл. 5.25).

Таблиця 5.25

Стійкість різців і шорсткість обробленої поверхні газополуменевого покриття з порошку ПГ-АН9

Параметри режиму обробки	Величина параметра при обробці різцями, оснащеними пластинами з матеріалів				
	ВК8	ВОК-60, ВО-13	Композит 01	Композит 10	Киборит
Швидкість різання, м/хв	9,8	49,5	62,8		
Подача, мм/об	0,125	0,06			0,120
Глибина різання, мм	0,25		0,3		1,5
Продуктивність обробки, мм <sup>3</sup> /хв	300	700	1100		11300
Стійкість різця, шт. оброблених деталей	12	1	17	20	40
Параметр Ra, мкм	2,2...3,0	2,8...3,2	2,8...3,1	2,6...3,4	2,4...3,6

Примітка: твердість покриття – HV = 5,3...6,9 ГПа.

При цьому стійкість різців із пластинами з киборита у 2...3 рази, а продуктивність – у 8...10 разів більші, ніж у різців із пластинами з композитів 01 і 10 при практично однаковій шорсткості обробленої ними поверхні.

Використання для розточування відновлених посадочних отворів із газополуменевиими покриттями Н80Х13С2Р різців із пластинами киборита замість різців із пластинами з твердого сплаву Т5К10 дозволяє збільшити продуктивність обробки у 5 разів, а стійкість різців – у 8 разів (табл. 5.26). У дослідженнях використовувалися різці з круглими пластинами киборита діаметром 6,35 мм із заднім кутом 11° і різці з напаяними твердосплавними пластинами



T5K10 із заднім кутом 15°, головним і допоміжним кутами у плані 45°. Передній кут різців – 10°.

Таблиця 5.26

Стойкість різців при розточуванні і шорсткість обробленої поверхні газополуменевого покриття з порошку ПР-Н80Х13С2Р

Параметри режиму обробки	При обробці різцями, оснащеними пластинами зі сплаву	
	T5K10	киборит
Швидкість різання, м/хв	6,3	50,2
Подача, мм/об	0,034	0,06
Глибина різання, мм	0,5	0,5
Продуктивність, мм <sup>3</sup> /хв	300	1500
Стойкість різця, шт. оброблених деталей	15	120
Параметр Ra, мкм	–	1,1...1,7

При точінні різцями з киборита плазмових покриттів, напилених порошком ПГ-СРЗ (47...50 HRC), продуктивність чорнової і чистової обробки відповідно у 10 і 6 разів вища, а параметри шорсткості обробленої поверхні у середньому на 20% нижчі, ніж при точінні покриттів різцями з твердосплавними пластинами ВК8 (табл. 5.27).

Таблиця 5.27

Результати порівняльних іспитів різців при точінні плазмових покриттів із порошку ПГ-СРЗ

Параметри режиму обробки	Величина параметра* при обробці різцем, оснащеним пластинами із сплаву	
	ВК8	киборит
Швидкість різання, м/хв	21,6...26,8 / 21,6...26,8	180...280 / 290...550
Подача, мм/об	0,080 / 0,028	0,040...0,080 / 0,028
Глибина різання, мм	0,9 / 0,2	0,9/0,2
Продуктивність, мм <sup>3</sup> /хв	1590...2120 / 120...460	6600...20000 / 1600...3000
Параметр Ra, мкм	– / 1,4...1,7	– / 1,0...1,3

Примітка: \*Чисельник – величина параметра при чорновій, знаменник – при чистовій обробці.

При обробці різцями, оснащеними пластинами киборита, продуктивність у середньому у 2 рази вища, ніж при обробці різцями з твердосплавними пластинами. Стійкість різців із пластинами киборита у 8...10 разів перевищує стійкість різців із пластинами з твердого сплава. Заміна операцій шліфування оплавлених покриттів ПГ-12Н-01, ПГ-12Н-01, ПС-12, НВК-01, ПГ-СР4 операціями чорнового, напівчистового і чистового точіння різцями, оснащеними пластинами з киборита, дозволяє підвищити продуктивність обробки у 8...12 разів.

У табл. 5.28 наведені оптимальні режими різання інструментом із киборита газотермічних покриттів із аморфно-кристалічною структурою, напилених із використанням матеріалів на основі феробора..

Таблиця 5.28

Показники технології лезової обробки зносостійких газотермічних покриттів із аморфно-кристалічною структурою

Матеріал покриття	Режими різання			$Ra$ , мкм	Стійкість $T$ , хв	$Q$ , см <sup>3</sup> /хв
	$v$ , м/с	$S$ , мм/об	$t$ , мм			
Покриття систем Fe-B; Fe-Si-B ( $D_s = 2,2...2,5$ ): чорнове точіння	1,5... 1,7	0,15... 0,20	0,3... 0,6	0,7... 1,5	120... 140	3,5...5,0
	1,2... 1,3	0,02... 0,05	0,2... 0,4	0,5... 0,6	60	
чистове точіння						1,5...2,2
Покриття систем Fe-B; Fe-Cr-B ( $D_s = 2,50...2,85$ )	1,5... 2,2	0,05... 0,20	0,2... 0,6	1,2... 2,7	60...0 80	3,6...5,0

Примітка: Параметр фрактальної розмірності сукупності механічних властивостей покриттів  $D_s$  чисельно характеризує гетерогенність їх структури.

Різцями, оснащеними пластинами з ПНТМ, можна успішно обробляти покриття з аморфно-кристалічною структурою у режимі чорнового, напівчистового та чистового точіння. У процесі чистового точіння інструментом із киборита покриттів із високим вмістом аморфної фази і порівняно од-

норідною структурою досягається шорсткість  $Ra$  0,52...0,63 мкм, що дозволяє відмовитись від операції шліфування. обробленої поверхні.

Оптимальні геометричні параметри різального інструмента, оснащеного круглими та квадратними багатограними пластинами киборита: передній кут  $\gamma = -10^\circ$ ; задній кут  $\alpha = 10^\circ$ . При чистовій обробці заміну різальних елементів різців або їхній поворот слід проводити при досягненні величини зносу по задній поверхні  $h_3 = 0,25$  мм; при чорновій обробці для нормальної експлуатації інструменту таку операцію необхідно проводити при  $h_3 = 0,4$  мм.

Обробку покриттів із аморфно-кристалічною структурою можна проводити на універсальних і спеціальних верстатах. Найбільш висока якість обробленої поверхні в умовах чистового точіння досягається при використанні верстатів із безступінчастим регулюванням швидкості різання. Подача при чистовому точінні не повинна перевищувати 0,05 мм/об.

Експериментальні дослідження дають можливість зробити висновок, що з підвищенням швидкості різання зменшується вплив неоднорідності структури покриттів на інтенсивність зношування інструменту. Тому процес точіння аморфно-кристалічних покриттів із збільшенням гетерогенності їхньої структури доцільніше проводити з більш високими швидкостями різання. Це дозволяє підвищити продуктивність та зменшити собівартість обробки (рис. 5.5).

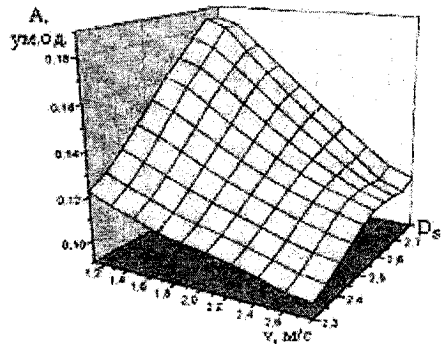


Рис. 5.5. Залежність собівартості токарної обробки покриттів (A) від величини фрактальної розмірності сукупності їх механічних властивостей  $D_s$  та швидкості різання  $v$

## 5.8. Методи підвищення стійкості інструмента при обробці напилених і наплавлених покриттів

Важкі умови різання при механічній обробці наплавлених і напилених покриттів обумовлюють важливість проблеми підвищення стійкості різального інструмента. Методи підвищення стійкості інструмента при обробці різанням можуть бути розділені на дві групи: вплив на умови процесу різання; вплив на властивості інструментального матеріалу.

До першої групи методів відносяться: застосування ЗОТС, зниження вібрацій різального інструмента, урахування структурних особливостей покриттів.

**Застосування ЗОТС.** Одним зі шляхів впливу на стійкість інструмента є використання різних ЗОТС, які знижують температуру в зоні різання і зменшують інтенсивність фрикційної взаємодії між інструментальним і оброблюваним матеріалами. ЗОТС можуть впливати також і на хімічні процеси, якими супроводжується механічна обробка. До таких технологічних середовищ відносяться, зокрема, газоподібні середовища. Різні гази можуть як прискорювати хімічні реакції в зоні різання, так і виконувати функції інгібіторів цих реакцій.

На рис. 5.9 представлені результати експериментальних досліджень впливу газових середовищ на знос інструмента з ПНТМ при точінні напилених покриттів ПГ-10Н-01. При малих швидкостях різання стійкість інструмента практично не змінюється при використанні

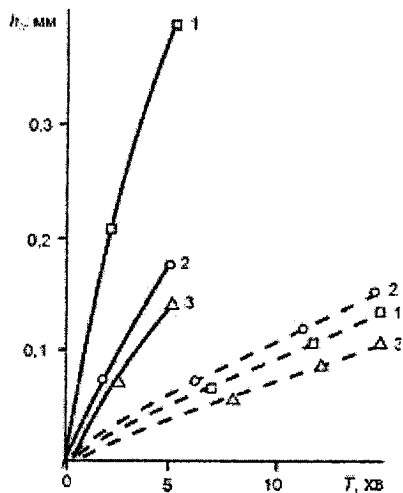


Рис. 5.9. Залежність зносу інструмента з кибориту від швидкості різання (— — 3,0 м/с; - - - - 0,75 м/с) і складу газового середовища (1 – повітря; 2 – аргон; 3 – азот) при точінні покриття ПГ-10Н-01

різних газових середовищ. При збільшенні швидкості різання, а, отже, і контактної температури, вплив газив на стійкість інструмента більш суттєвий. При високих швидкостях різання точіння як у середовищі аргону, так і у середовищі азоту дозволяє значно підвищити стійкість інструмента порівняно з точінням на повітрі. Це пов'язано з обмеженням проникнення кисню повітря до контактних поверхонь інструмента, що обумовлює зниження інтенсивності хімічної взаємодії нітриду бора з навколишнім середовищем і оброблюваним матеріалом. Кількість оброблюваного матеріалу на неконтактних ділянках інструмента істотно розрізняється при роботі в різних газових середовищах. Із ростом швидкості різання хімічна взаємодія в зоні обробки стає головним фактором, який визначає механізм зношування інструмента, і вплив різних середовищ стає більш суттєвим.

Оскільки розглянуті захисні покриття є високолегованими композиціями, до складу яких входить такий адгезійно активний до нітриду бора елемент, як хром (8,0...26,0 %), це значною мірою визначає стійкість інструмента, а також продуктивність обробки. Крім того, нікель, який є одним із компонентів або основою багатьох матеріалів, які використовуються для нанесення покриттів, має високу здатність до зчеплення з інструментальними матеріалами на основі КНБ. Усе це разом із неоднорідною пористою структурою покриттів визначає особливості зношування інструмента і обумовлює необхідність пошуку ефективних шляхів підвищення його стійкості, а також керування зносом.

Рідкі середовища також дозволяють збільшити стійкість різального інструмента на основі КНБ. З огляду на особливості інструмента з КНБ більш доцільно подавати ЗОТС у зону різання не поливом, а розпиленням. Застосування розпилених ЗОТС рекомендується при швидкостях різання до 1,7 м/с. Зазначені швидкості різання відповідають обробці багатьох захисних покриттів.

Використання масляних ЗОТС дозволяє збільшити стійкість інструмента на основі КНБ у 1,5...2,0 рази. Ще більший ефект може бути досягнутий за рахунок введення до складу ЗОТС присадок для надвисоких тисків. Завдяки реакції цих присадок із КНБ на поверхні різальної пластини утворюються плівки твердого змащування. Вони значно знижують коефіцієнт тер-

тя і запобігають крихкому руйнуванню КНБ під впливом жорстких термоциклів при нагріванні полікристала у процесі різання і наступному охолодженні в рідкому середовищі. До таких прикладок відносяться сірка та хлор.

**Зниження вібрацій різального інструмента.** Враховуючи специфічні властивості і структуру захисних покриттів, а також особливості макрогеометрії деталей з покриттями, особливого значення набувають заходи щодо зниження вібрацій при обробці лезовим інструментом із ПНТМ. Випадкові зміни глибини різання та механічних властивостей покриттів призводять до виникнення вимушених коливань у технологічній системі. Коливання супроводжуються зміною швидкості і сили різання, при цьому зміна радіальної складової сили різання за часом відстає від зміни режимів обробки. У таких умовах власні коливання переходять в автоколивання. Існує кілька шляхів боротьби з вібраціями:

1. Розробка вібростійкого металорізального інструмента. Ця вимога особливо актуальна для роботи інструментом із різальною частиною з надтвердих матеріалів, що зв'язано з відносно низькими динамічними властивостями цих матеріалів і високими швидкостями різання при їхньому використанні. Підвищення вібростійкості різального інструмента досягається за рахунок збільшення його жорсткості або за рахунок підвищення здатності демпфувати вібрації.

2. Розробка і використання пристроїв та матеріалів для демпфування вібрацій. Існує порівняно велика кількість динамічних, фрикційних, гідравлічних пристроїв, а також пристроїв ударної дії, що дозволяють знизити інтенсивність автоколивань у процесі різання. Однак, їхнє використання істотно ускладнює конструкцію інструмента.

3. Розробка вібростійких умов різання. Відомо, що неоднорідність фізико-механічних властивостей покриттів знижується під впливом високої температури, яка виникає в зоні різання при механічній обробці. З огляду на те, що температура різання визначається режимом обробки, можна вибрати такі режими різання, які забезпечують стабілізацію тангенційної складової сили різання.

Підвищення вібростійкості інструмента з НТМ може бути реалізоване шляхом надійного кріплення різальної пластини до державки. На рис. 5.6 наведена конструкція різця, в якій надійність кріплення різальної пластини досягається використанням пружно-деформівного прихвата інструмента.

Друга конструкція (рис. 5.6, б) передбачає створення у державці інструмента попередніх напруг, протилежних за знаком напругам, які виникають у ній під час різання. При цьому величина попередніх напруг вибирається зі співвідношення  $1,1\sigma_d < \sigma_p < 1,2\sigma_d$ , де  $\sigma_p$  і  $\sigma_d$  – відповідно напруги, які формуються при різанні і створюються у державці перед обробкою. Така конструкція механічного кріплення різальної пластини до державки особливо ефективна при значному вильоті інструмента.

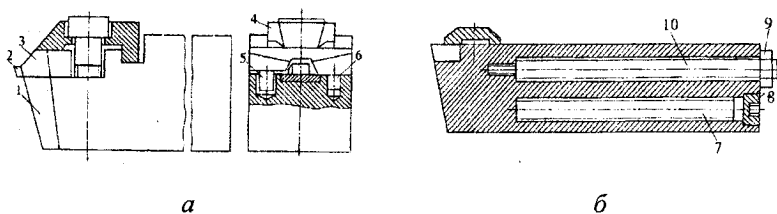


Рис. 5.6. Вібростійкі конструкції інструмента з пружним затиском (а) і з державкою, в якій попередньо створені напруги, протилежні за знаком напругам, що виникають при різанні (б): 1 – державка; 2 – різальний елемент; 3 – сепаратор; 4 – прихват; 5 – рухливий штифт; 6 – штифт; 7 – стискаючий стрижень; 8, 9 – гайка, 10 – розтягуючий стрижень

При обробці деталей з покриттями загальною вимогою забезпечення підвищеної вібростійкості інструмента є установка його на верстаті з мінімальним вильотом.

Останнім часом накопичений досвід використання різального інструмента з чавунними державками, а також застосування в різальному інструменті спеціальних пластин «Авібрит» для демпфування вібрацій (рис 5.7). Такі інструменти мають підвищену вібростійкість. Залежно від частоти автоколивань у зоні різання пластини виготовляються з різними антивібраційними властивостями.

Таким чином забезпечується максимальне зниження динамічних навантажень на інструмент і підвищується ресурс його роботи

**Врахування структурних особливостей і властивостей покриттів.**

Як відзначалося раніше, такі характеристики матеріалу покриттів, як пористість, структурна неоднорідність (наявність відносно пластичних і твердих фаз), наявність дефектних шарів із підвищеним вмістом абразивних вкраплень, мають різні значення по товщині покриттів. У зв'язку з цим розподіл механічних властивостей по товщині і довжині покриттів виявляється вкрай неоднорідним.

З цієї причини процес точіння повинен вестися так, щоб із відновленої або зміцненої деталі видалялись найбільш дефектні шари покриття, а до обробленої поверхні прилягали найбільш тверді, міцні та однорідні фрагменти напиленого або наплавленого матеріалу. Наслідком цього є підвищення стійкості інструмента, обумовлене зниженням динамічних навантажень на його різальну частину, одержання меншої шорсткості обробленої поверхні і зростання експлуатаційних характеристик деталі з покриттями.

Друга група методів, які забезпечують підвищення стійкості і різальних властивостей інструмента, пов'язана зі зміною властивостей інструментального матеріалу.

**Термічна і термохімічна обробка.** Термічна обробка інструментальних матеріалів дозволяє за рахунок зміни їхньої структури, а, отже, і фізико-механічних властивостей, істотно підвищити стійкість інструмента. При цьому, поряд із режимами термообробки – температурою та швидкістю нагрівання, – а часом і витримкою та умовами охолодження, – велике

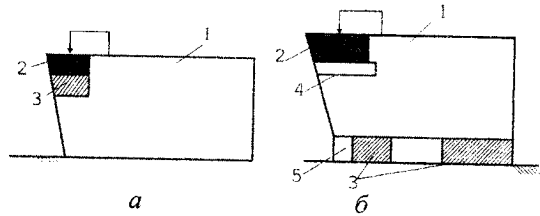


Рис 5.7. Схеми установки пластин для демпфірування автоколивань у різальному інструменті (а – під різальним елементом; б – під державкою): 1 – державка; 2 – різальна пластина; 3 – пластина для демпфірування автоколивань; 4 – пластина із твердого сплава; 5 – сепаратор



значення має середовище, в якому проводиться обробка. Відносно термообробки полікристалів на основі КНБ середовище повинне забезпечувати відсутність або мінімізацію появи в оброблюваному матеріалі фазових складових, які у певних умовах експлуатації інструмента знижують його стійкість. Зокрема, середовище повинне ізолювати КНБ від впливу кисню, який активно реагує з бором, в результаті чого утворюється борний ангідрид  $B_2O_3$ . Термічна обробка також повинна забезпечувати зниження концентрації борного ангідриду у вихідних кристалах КНБ.

Термообробка полікристалів на основі КНБ проводиться у діапазоні температур 500... 1500 °С.

У табл. 5.29 наведені результати, які підтверджують ефективність термообробки різальних пластин із киборита.

Таблиця 5.29.

Вплив термообробки на властивості ПНТМ і знос інструмента\*

Стан пластини	Межа міцності при розтязі при діаметральному стиску, МПа	Знос інструмента, мм
Вихідна	2460 ± 520	0,16 ± 0,012
Після термообробки	4250 ± 264	0,12 ± 0,005

Примітка: \*Оброблюваний матеріал – сталь ШХ15 (60...62 HRC);  
режими різання:  $v = 1,63$  м/с;  $S = 0,12$  мм/об;  $t = 0,3$  мм.

Найбільша ефективність термообробки полікристалів киборита проявляється при подачах  $> 0,2$  мм/об, тобто, при різанні з високими навантаженнями.

Спеціальна обробка різальних пластин збільшує їхню міцність і стійкість. Одночасно зменшується розсіювання механічних властивостей та експлуатаційних характеристик. Остання обставина вкрай важлива для обробки деталей з покриттями, що супроводжується випадковим динамічними навантаженнями на інструмент.

Термообробка у середовищі, яке не забезпечує зменшення концентрації  $B_2O_3$  в інструментальних матеріалах на основі КНБ, у багатьох випадках може підвищити їхні механічні властивості. При низькій температурі наявність борного ангідриду у пластинах КНБ може сприяти заліковуванню мік-

родефектів. Але при високих температурах  $V_2O_5$  возгоняється. Це призводить до появи пор і втрати зв'язків між окремими зернами кристалів, оскільки вкраплення борного ангідриду розташовані на межах зерен.

**Створення нових інструментальних матеріалів.** Розробка і створення інструментальних матеріалів повинні базуватися на результатах досліджень процесу різання. Тільки маючи дані про особливості протікання процесу обробки конкретного конструкційного матеріалу, можна запропонувати ліпший інструментальний матеріал. Однією з можливостей підвищення стійкості інструмента є зниження інтенсивності хімічної взаємодії інструментального та оброблюваного матеріалів між собою, а також з елементами навколишнього середовища. Створивши матеріал, до складу якого входять інгібітори таких реакцій, можна істотно підвищити стійкість різального інструмента і продуктивність процесу обробки.

При створенні інструментального матеріалу треба враховувати механічну та хімічну взаємодії інструментального і оброблюваного матеріалів:

$$W = W_{\text{мех}} + W_{\text{хім}},$$

де  $W$ ,  $W_{\text{мех}}$ ,  $W_{\text{хім}}$  – відповідно сумарний знос, а також знос, обумовлений механічною та хімічною взаємодією.

Це положення успішно використовується для розрахунку зносостійкості керамічних різців при точінні сучасних конструкційних матеріалів.

## **6. СТАН ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ВИРОБІВ ПІСЛЯ ЛЕЗОВОЇ ОБРОБКИ**

Якість поверхні є однією з найважливіших характеристик деталей машин. Комплекс параметрів, які її визначають, безпосередньо впливає на надійність і довговічність деталей, вузлів та машин у цілому.

Стан поверхневого шару визначається геометричними характеристиками поверхні, фізико-механічними та фізико-хімічними властивостями поверхневого шару (рис. 6.1).

## 6.1. Шорсткість поверхні

Пластична деформація в зонах стружкоутворення і вторинної деформації залежить від швидкості різання, тому остання впливає на характеристики мікрогеометрії поверхні.

На рис. 6.2 показані залежності параметрів шорсткості  $Ra$ ,  $Sm$ ,  $tm$  від умов різання.

Величина подачі найістотніше впливає на шорсткість поверхні. При малій подачі ( $\leq 0,05$  мм/об) позначається вплив тертя на задній поверхні інструмента і шорсткість дещо зростає. Значення критичної подачі залежить від величини радіуса при вершині різця. Для різця з кибориту з радіусом при вершині 1 мм при точінні наплавлених покриттів 40X2B8 та 25X5ФМС критична подача складає відповідно 0,11 і 0,15 мм/об. При точінні більш твердих матеріалів спостерігається менший рівень критичних подач. Зі зростанням радіусу при вершині різця величина критичної подачі зростає.

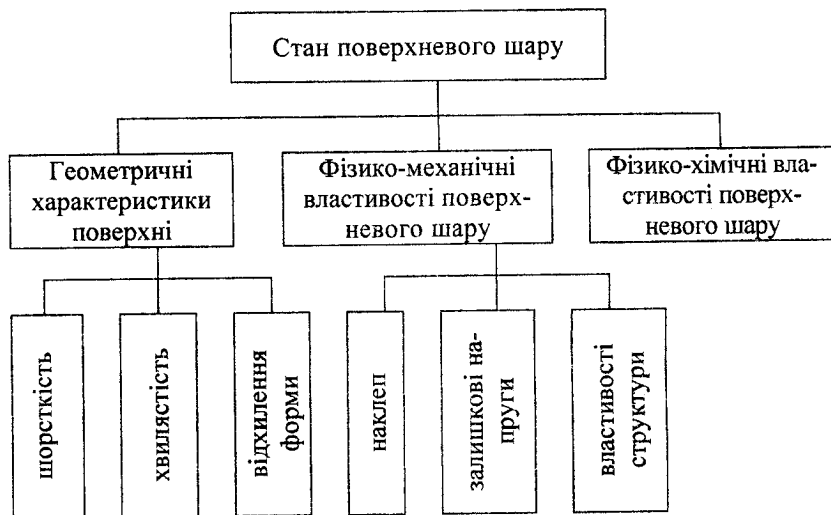
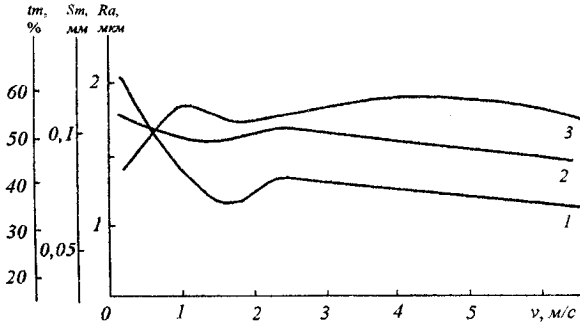


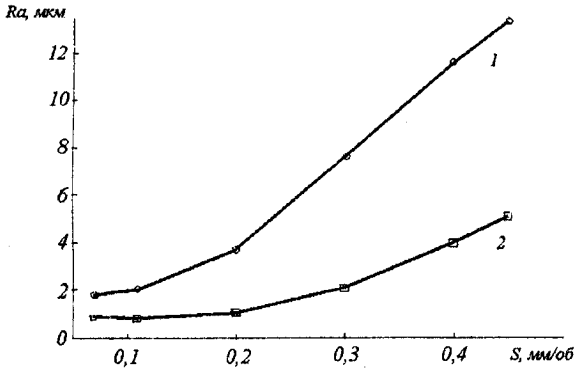
Рис. 6.1. Класифікація параметрів якості

Вплив глибини різання на шорсткість поверхні наплавлених покриттів менш суттєвий, ніж вплив подачі, що пов'язано з від-

носно невеликим впливом глибини різання на процес пластичної деформації при різанні.



а



б

Рис. 6.2. Вплив швидкості різання (а) (1 –  $Ra$ ; 2 –  $Sm$ ; 3 –  $tm$ ) та подачі (б) (1 –  $R = 1,0$  мм; 2 –  $R = 2,5$  мм) на шорсткість поверхні ( $S = 0,15$  мм/об;  $t = 0,25$  мм) при точінні наплавленого покриття ПП-Нп-25Х5ФМС

Відносно слабкий вплив швидкості різання визначається відсутністю або малою величиною наросту на лезі, а також високою механічною міцністю і твердістю оброблюваних матеріалів.

Висотні параметри шорсткості поверхні досить тісно корелюються між собою, що дозволяє користуватись обмеженою кількістю таких характеристик. Наприклад, для обробки наплав-

лених покриттів характерні наступні співвідношення між висотними параметрами шорсткості поверхні:

$R_p/R_v$	$R_{max}/R_p$	$R_{max}/R_q$	$R_{max}/R_a$	$R_{max}/R_v$	$R_q/R_a$	$R_p/R_a$	$R_p/R_q$
1,1...2,5	2,1...2,8	1,4...1,9	3,4...7,8	3,1...5,5	1,1...1,3	1,7...4,7	1,6...3,6

Крок нерівностей на середній лінії та радіус округлення нерівностей визначаються геометричними параметрами і подачею інструмента.

Величина критерію Комбалова-Крагельського  $\Delta$  є функцією висотних параметрів нерівностей, радіуса нерівностей і параметрів опорної кривої профілю, тому на нього впливають всі умови обробки і найбільше – перетин шару, що зрізується.

Вплив кута різання на шорсткість поверхні пов'язаний зі зміною переднього кута інструмента – зі зростанням негативного переднього кута збільшується об'єм деформованого матеріалу і, як наслідок, висота нерівностей.

Величина радіуса заокруглення різальної кромки на шорсткість обробленої поверхні майже не впливає. Наявні дані свідчать, що фінішна обробка робочих поверхонь інструмента не є ефективним способом зниження шорсткості поверхонь деталей, які цим інструментом обробляються, що, ймовірно, пов'язано з недостатньою міцністю зчеплення часток покриття між собою та їхнім викишуванням.

Залежності середнього кроку нерівностей профілю  $S_m$  від умов різання представлені на рис. 6.3. Зміна параметра  $S_m$  найбільш тісно пов'язана зі зміною величин швидкості різання та подачі, причому, дія цих факторів протилежна. Починаючи зі швидкості різання 0,9...1,1 м/с інтенсивність зниження  $S_m$  різко зменшується, що, ймовірно, пов'язано із зменшенням інтенсивності крихкого руйнування оброблюваного матеріалу при зростанні температури в зоні різання. Інтенсифікація зростання  $S_m$  при точінні з подачею  $> 0,08...0,1$  мм/об обумовлена більш інтенсивним руйнуванням матеріалу внаслідок поширення деформації від інструмента на більший об'єм покриття і збільшення сили різання. Аналогічним чином впливає на  $S_m$  збільшення зносу інструмента, особливо, з ростом  $h_s > 0,25...0,30$  мм.

Збільшення швидкості різання неоднозначно впливає на величину висотних параметрів нерівностей. У випадку точіння звичайними різцями збільшення швидкості різання призводить до деякого зростання висоти нерівностей. При обробці різцем з циліндричною передньою поверхнею зі зростанням швидкості різання висота мікронерівностей знижується. Глибина різання впливає на шорсткість поверхні приблизно так, як і подача. При цьому інтенсивність зростання висоти мікронерівностей більша для звичайного різця.

Вплив зносу інструмента на початковій стадії на шорсткість поверхні пов'язаний з явищем вигладжування обробленої поверхні фаскою зносу інструмента по задній поверхні, а при високому ступені зносу – з копіюванням поверхнею деталі нерівностей зношеної поверхні інструмента і впливом вібрацій у зоні різання (рис.6.4). Останнє підтверджується залежністю сили різання від часу роботи інструмента, яка має аналогічний вигляд із залежністю зносу інструмента від часу.

Знизити висоту нерівностей можна в результаті спеціальних конструкторських заходів. До їхнього числа відноситься розробка різального інструмента з випуклою передньою поверхнею. Такі різці за рахунок своєї геометрії змінюють умови пластичного де-

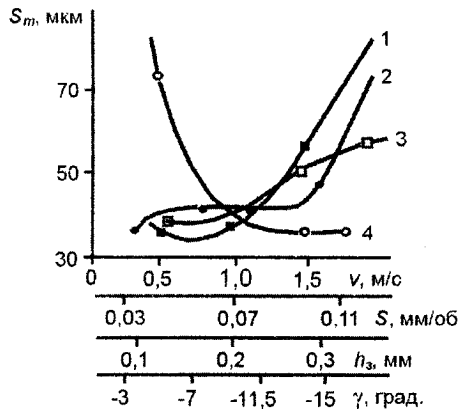


Рис. 6.3. Залежність кроку нерівностей профілю від умов точіння покриття ПГ-10Н-01 різцями з киборита ( $\alpha = 10^\circ$ ;  $\varphi = 40^\circ$ ;  $\varphi_1 = 15^\circ$ ;  $\lambda = 0^\circ$ ;  $l_f = 0,2$  мм): 1 – від швидкості різання ( $S = 0,1$  мм/об;  $h_z = 0,25$  мм;  $\gamma = -10^\circ$ ); 2 – від подачі ( $v = 1,3$  м/с;  $h_z = 0,25$  мм;  $\gamma = -10^\circ$ ); 3 – від переднього кута різця ( $v = 1,3$  м/с;  $S = 0,1$  мм/об;  $h_z = 0,25$  мм); 4 – від зносу інструмента ( $v = 1,3$  м/с;  $S = 0,1$  мм/об;  $\gamma = -10^\circ$ )

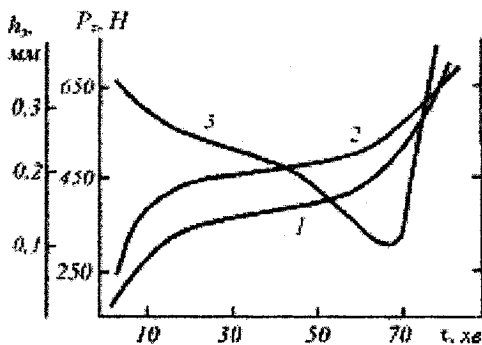


Рис. 6.4. Залежність зносу інструмента (1), сили різання (2) і шорсткості обробленої поверхні (3) від часу обробки наплавленого покриття ПП-Нп-35В9ХЗСФ

формування оброблюваного матеріалу перед інструментом. Крім того, на відміну від інструмента з плоскою передньою поверхнею, при циліндричній або конічній передній поверхні проекція різальної кромки на основну площину має радіус кривизни у декілька разів більший, ніж радіус при вершині звичайного інструмента. Це також сприяє зниженню шорсткості оброблюваної поверхні.

Тому що інструмент із неплоскою передньою поверхнею має проекцію різальної частини на основну площину істотно меншої кривизни, ніж звичайні різці з плоскою передньою поверхнею, величина подачі впливає на шорсткість поверхні менш суттєво, ніж геометричні параметри інструмента. Зокрема, при точінні інструментом із неплоскою (випуклою) передньою поверхнею зміна величини подачі майже у вісім разів практично не впливає на розрахункову висоту мікронерівностей.

Збільшення переднього кута різців звичайної конструкції призводить до зростання радіуса проекції різальної кромки, а збільшення заднього кута різця з неплоскою передньою поверхнею – до зниження радіуса проекції різальної кромки. Відповідно до цього відбувається і зміна висотних параметрів шорсткості поверхні. На рис. 6.5 наведені експериментальні залежності висоти мікронерівностей  $Ra$  від умов точіння. Зі зростанням подачі висота мікронерівностей поверхні монотонно зростає, при цьому висота нерівностей поверхні, обробленої різцем з циліндричною передньою поверхнею, зростає повільніше в 1,4...1,9 рази.

Подібні результати отримані при точінні наплавленого плазмового покриття ПГ-СР5. Встановлено, що при однакових умовах різання найменша шорсткість після точіння різцем з циліндричною передньою поверхнею складає  $Ra\ 0,238 \pm 0,08$  мкм, а після точіння звичайним різцем із плоскою поверхнею –  $Ra\ 0,544 \pm 0,19$  мкм.

Обробка напиленого покриття ПГ-СР3 інструментом із киборита дозволяє знизити шорсткість поверхні на 10...15 % порівняно з обробкою інструментом із твердого сплаву ВК8, а при точінні напиленого покриття ПР-Н77Х15С3Р3 досягається шорсткість поверхні на 15...20 % нижча, ніж при обробці різцями з композита 10. При точінні наплавленого покриття ПП-Нп-35В9Х3СФ інструмент із киборита дозволяє знизити шорсткість обробленої поверхні на 40 % порівняно з обробкою різцями з композита 10.

При обробці наплавлених покриттів ПГ-СР3 і ПГ-СР4 інструментом із киборита висотні параметри шорсткості поверхні  $Ra$ ,  $Rp$ ,  $R_{max}$  забезпечуються з надійністю відповідно  $p = 0,73...0,98$  і  $p = 0,85...1,00$ .

З теорії різання відомо, що поверхневий шар під час обробки деформується і втрачає свою дрібнокристалічну структуру. Цей процес також супроводжується захватом часток поверхневого шару та їх відриванням внаслідок адгезії. При обробці пластичних металів збільшується пружне відтискання оброблюваного матеріалу під задньою поверхнею, зростає тертя на поверхні обробки (це явище є теоретичним

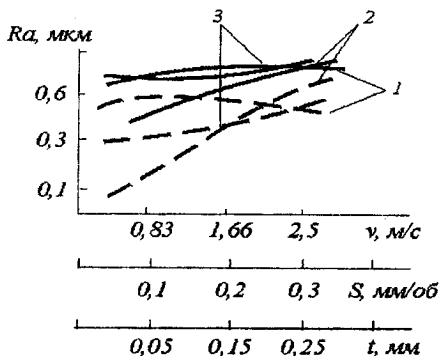


Рис. 6.5. Залежність шорсткості напиленої поверхні: 1 – від швидкості різання ( $S = 0,19$  мм/об;  $t = 0,15$  мм); 2 – від подачі ( $v = 1,17$  м/с;  $t = 0,15$  мм); 3 – від глибини різання ( $v = 1,17$  м/с;  $S = 0,19$  мм/об); суцільна лінія – простий різець; штрихова – різець з циліндричною передньою поверхнею



підґрунтям для оптимізації кута  $\alpha$ ) тощо. Все це є наслідком пластичної деформації в зоні різання, ступінь якої і визначає реальну шорсткість обробки.

Весь робочий діапазон швидкостей різання може бути умовно поділений на три зони.

Величини швидкості різання  $v$  та висоти нерівностей  $Rz$  можна регулювати у деяких межах за рахунок раціональної термічної обробки, яка створює більш зручні умови призначення режимів, що забезпечують оптимальну величину шорсткості:

1. Незалежно від хімічного складу сталі максимуми кривих  $Rz = f(v)$  при наявності структур зернистого перліту, сорбіту і троостосорбіту розташовані значно лівіше, в зоні менших швидкостей різання ( $v \cong 20$  м/хв), і більш стиснуті, тобто, мають значно меншу ординату  $Rz$  (та або інша відповідна структура забезпечується термічною обробкою) (рис. 6.6).

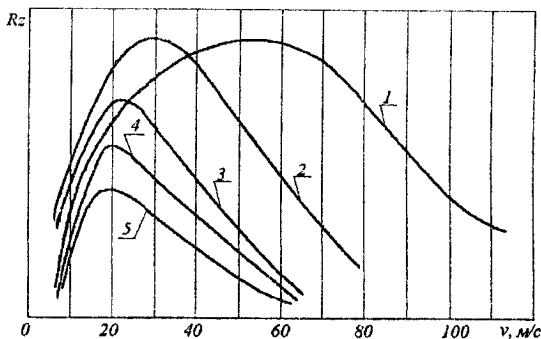


Рис. 6.6. Залежність величини  $Rz$  від швидкості різання для середньовуглецевих сталей з різною структурою: 1 – пластинчастий перліт і ферит; 2 – зернистий перліт; 3 – сорбіт із високою твердістю; 4 – сорбіт із високою твердістю; 5 – троостосорбіт

2. Величина  $Rz$  тим більша, чим більше у структурі сталі фериту. Збільшення відсотків вуглецю та легуючих елементів також сприяє зменшенню  $Rz$ .

Подача є другим елементом режиму різання, що суттєво впливає на шорсткість поверхні. При  $S > 0,15$  мм/об її

вплив на шорсткість негативний,  $Rz$  зростає як за рахунок геометричного фактора, так і внаслідок зростання пластичних деформацій, бо зусилля різання практично пропорційне вели-

чині подачі. При обточуванні плоскими широкими різцями вплив геометричного фактора практично відсутній.

Однак, не слід вважати, що зменшення подачі автоматично викликає поліпшення шорсткості. Тут мають місце більш складні співвідношення. Дослідження, підтверджені виробничою практикою, показали, що при  $S < 0,12 \dots 0,15$  мм/об теоретичний закон зв'язку між  $P_z$  і  $S$  не діє і шорсткість практично не змінюється до  $S = 0,05$  мм/об, а при подальшому зменшенні подачі може навіть зростати.

Це зумовлено тим, що зростають ступінь пластичної деформації та питома сила різання. Таким чином, найбільш сприятливим діапазоном подач при обточуванні вуглецевих сталей для оптимізації шорсткості є  $S = 0,05 \dots 0,12$  мм/об (за винятком процесів алмазної обробки).

Для деяких видів обробки (наприклад, зубофрезерування) на шорсткість впливає напрямок подачі – зустрічна вона чи попутна.

Глибина різання при  $t > 0,05$  мм практично не впливає на шорсткість, але при малих глибинах ( $t < 0,02$  мм), коли вона стає співмірною з радіусом округлення різальної кромки, процес різання припиняється і починається скобління. Внаслідок цього шорсткість істотно погіршується.

Істотно впливають на шорсткість механічні властивості, структура і твердість матеріалу, який піддається обробці. Вище це питання розглядалося, але слід додати ще декілька практичних зауважень.

На термічно необроблених сталях із феритно-перлітною структурою важко отримати малу величину шорсткості. З підвищенням твердості оброблюваного матеріалу за рахунок нормалізації або поліпшення шорсткість зменшується. Особливо несприятливі умови для оптимізації шорсткості складаються при шліфуванні термічно оброблених сталей.

До цього слід додати ще одне зауваження.

У машинобудуванні використовуються високолеговані пластичні сталі типу 40ХНМ, 40ХН, 35ХНМ тощо. Вони мають поліпшені показники пластичності, ударної в'язкості (при нормальній температурі  $a_n = 1200 \dots 1600$  кДж/м<sup>2</sup>, при  $t \leq -40$  °С зберігається близько 40 % номіналу цього показника), тому, го-

ловним чином, ці матеріали використовуються під час ремонту деталей машин так званого північного виконання.

Як показали дослідження, у межах цієї групи сталей (на відміну від звичайних вуглецевих) не діє закономірність монотонного зв'язку між твердістю та зусиллям різання в діапазоні усього ланцюга термічної обробки в послідовності: відпал  $\Rightarrow$  нормалізація  $\Rightarrow$  поліпшення  $\Rightarrow$  загартування.

У цьому розрізі розглядається питання про вплив на оброблюваність хімічного складу матеріалів. Прямого зв'язку немає, але сталі з великим відсотком елементів, які поліпшують пластичність, мають погану оброблюваність по шорсткості.

Хімічний склад різальної частини інструментів практично не впливає на шорсткість, але в деяких випадках має вирішальне значення. Мова йде про безпосередню хімічну спорідненість елементів швидкорізальних сталей Р6М5, Р9М3, Р9К10М5Ф тощо і вищезгаданих високолегованих хромонікелемолібденових сталей типу 35ХНМ.

У цих випадках при обробці з великим периметром зрізу стружки та малими задніми кутами (протягування, фасонне точіння та фрезерування, зубофрезерування тощо) має місце адгезія, внаслідок якої шорсткість істотно погіршується.

Оптимізації параметрів шорсткості сприяє і обґрунтований вибір мастильно-охолоджувальної рідини.

Вібрації лева різального інструмента відносно оброблюваної поверхні є додатковим фактором зростання  $P_z$ . На величину вібрацій впливають умови тертя при обробці, механічні властивості матеріалу, процес утворення поверхневого наклепу, коливання припуску, первинна шорсткість, налагодження інструмента.

Крім того, в технологічній системі або верстаті за певних умов можливе виникнення вимушених коливань, чому сприяють такі чинники, як: великі зазори у підшипниках, незбалансованість шківів, биття коліс у зубчастих приводах, крутильні коливання в обкатних ланцюгах зубонарізних верстатів тощо.

Внаслідок поганої віброізоляції фундаментів (або порушення ТУ при їх спорудженні) чистові верстати сприймають коливання від чорнових, а також молотів, пресів та іншого устаткування.

В зв'язку з тим, що вібрації, які виникають у процесі різання, мають випадковий характер, достатньо точно кількісно оцінити їх вплив ( $\Delta H_v$ ) на величину шорсткості поверхні складно. Він залежить, в основному, від жорсткості технологічної системи. Стосовно обробки гетерогенних матеріалів оцінка впливу вібрацій ускладнена через нестабільності їх структури та механічних властивостей і, відповідно, зміщення вершини інструмента відносно заданої траєкторії. Останнє, поряд зі збільшенням або зменшенням висоти нерівностей на обробленій поверхні, ускладнює отримання виробів необхідної точності. Велике значення також має несталість глибини різання, особливо, при обробці по кірці. В окремих випадках названі фактори можуть певною мірою зменшувати (поєднання максимальної глибини різання та мінімальних механічних властивостей матеріалу) або, навпаки, підвищувати (поєднання максимальної глибини різання й максимальних механічних властивостей матеріалу) вплив вібрацій на шорсткість поверхні. В цілому, він визначається амплітудою коливань, що залежить від частоти збуджуючої сили, яка пов'язана з різницею припуску у випадку проходження вершини різця по виступу (впадині) первинної шорсткості (при повторному проході) або з різницею припуску при усуненні нерівномірності поверхневого шару (обробка по кірці, нерівномірність твердості оброблюваного матеріалу). Користуються такою залежністю для розрахунків:

$$\Delta H_v = \frac{\Delta P \cdot \omega}{\sqrt{\left(1 - \frac{\lambda^2}{f_p^2}\right)^2 + T_n^2 \cdot \lambda^2}},$$

де  $\omega$  – податливість системи;  $\Delta P_y$  – різниця між максимальною та мінімальною радіальними силами різання;  $\lambda$  – частота збуджуючої сили;  $T_n$  – стала часу демпфування;  $f_p$  – частота власних коливань інструмента, яка залежить від жорсткості ділянки вильоту різця в напрямку сили  $P_z$ .

Для випадку обробки різцем, державка якого виготовлена зі сталі 40X ( $E = 214$  ГПа, щільність  $\gamma = 7850$  кГ/см<sup>3</sup>), має переріз  $b \times h = 25 \times 20$  мм<sup>2</sup> і встановлена в супорті з вильотом  $l_{bp} = 40$  мм,

отримаємо  $f_p = 2,15 \cdot 10^5$  Гц. Зважаючи на те, що  $T_n = 0,4 \cdot 10^{-3}$  с і  $\lambda = 4000$  Гц (тобто, враховуючи, що вимушені коливання відбуваються з частотою утворення елементів стружки –  $\sim 4000$  Гц, а частота автоколивань  $\sim 1000 \dots 5000$  Гц):

$$\Delta H_B = 0,625 \Delta P_y \cdot \omega.$$

Величина  $\Delta P_y$  визначається різницею  $\Delta P_y = P_{y_{\max}} - P_{y_{\min}}$ , де  $P_{y_{\max}}$  і  $P_{y_{\min}}$  – максимальне і мінімальне значення радіальної сили  $P_y$ .

Вирішальне значення мають заходи з підвищення жорсткості реальної технологічної системи при обробці. Необхідно застосовувати більш жорсткі пристрої, патрони, наладки, мінімальні вильоти різців і оправок (при максимальному їх перетині) тощо.

Для зменшення ймовірності появи вібрацій необхідно оптимізувати різальні параметри інструментів і сам процес різання, особливо, при чистових та викінчувальних методах обробки: припуск на обробку, структуру матеріалу, кути  $\alpha$ ,  $\gamma$  і  $\phi$ , мастильно-охолоджувальні рідини тощо.

Процеси зменшення ймовірності появи вібрацій та створення вібросталої технологічної системи певним чином пов'язані з оптимізацією величини кута  $\alpha$ .

Сила відтискування різця  $N_1$  на задній грані дорівнює:  $N_1 = \sigma_{зм} b$  ( $\sigma_{зм}$  – нормальні напруги на задній грані;  $b$  – площа контакту на задній грані). Вона викликає протисилу  $P_{\text{тертя}} = \mu \sigma_{зм} \cdot b$  ( $\mu$  – коефіцієнт тертя на задній грані) або протимомент, який називається моментом тертя, що більш відповідає фізичній природі сили  $N_1$ . Сили  $N_1$  і  $P_{\text{тертя}}$  ( $M_{\text{тертя}}$ ) змінні у часі за абсолютною величиною, а інколи і за знаком.

Ця обставина, власне, і обґрунтовує фізичну суть і механіку джерел крутильних коливань при циліндричному та фасонному фрезеруванні, зубофрезеруванні тощо.

Сила  $N_1$  у відповідних межах є функцією площі  $b$  та кута  $\alpha$ . За умов прохідного точіння та торцевого фрезерування вона мало впливає на вібросталість процесу різання, але при фасонному обточуванні, циліндричному і фасонному фрезеруванні цей вплив стає вирішальним, особливо, при недос-

татніх величинах кута  $\alpha$ . Тобто, оптимізація кута  $\alpha$  є ключем до управління вібраціями, а, отже, і параметром  $Rz$ .

Цей висновок підтверджується практикою.

## 6.2. Фізико-хіміко-механічні властивості поверхневих шарів

Якість поверхні є комплексним показником, тому, крім параметрів шорсткості, на експлуатацію та надійність машин великий вплив мають фізико-хіміко-механічні властивості поверхневих шарів.

З теорії різання відомо, що у поверхневому шарі при механічній обробці внаслідок пластичної деформації відбувається низка складних процесів, зокрема, подрібнення та витягування кристалічних зерен, створюються сприятливі умови для виникнення міжкристалітних напруг тощо. При цьому підвищуються показники міцності, твердості та крихкості, і, навпаки, знижуються пластичність та в'язкість облюбованого матеріалу.

Внаслідок таких процесів, порівняно з серцевиною металу, властивості поверхнього шару істотно змінюються і набувають нової якості, – він зміцнюється.

У процесі різання в поверхневих шарах оброблюваного матеріалу відбуваються структурно-фазові перетворення, що призводять до зміни їхнього стану в порівнянні з внутрішніми шарами матеріалу. Наприклад, при точінні наплавленої сталі мартенситного класу твердістю HRC 45...55 (рис. 6.7) при обробці зі швидкістю різання до 1,5 м/с відбувається

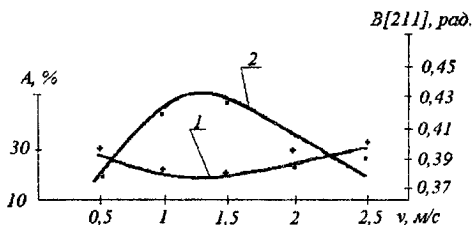


Рис. 6.7. Вплив швидкості різання на структуру і зміцнення поверхнього шару сталі 5X4B3MFC

деяке розширення інтегральних рентгенівських ліній  $\{110\}$  і  $\{211\}$   $\alpha$ -фази, що свідчить про зміцнення матеріалу. Цим же швидкостям різання відповідає зниження кількості залишкового

аустеніту в обробленій поверхні. Подальше збільшення швидкості різання призводить до зростання температури в зоні обробки і проявлення елементів знеміцнення поверхневого шару, що виявляється в рості кількості залишкового аустеніту. Спостерігається тенденція до зняття мікрвикривлення ґраток, що є наслідком пластичного деформування при різанні.

Показники наклепу залежать, перш за все, від виду механічної обробки та її чинників, зокрема: режимів різання, геометричних параметрів різального інструмента і його спрацювання, механічних характеристик оброблюваного матеріалу та його термічної обробки тощо. Показники параметрів наклепу (величина  $U_n$  та глибина  $h_n$ ) наведені у табл. 6.1.

На параметри наклепу впливають режими різання, величини кутів інструмента і пластичних властивостей оброблюваного матеріалу, інші чинники, які сприяють зростанню пластичної деформації, а саме:

– при підвищенні швидкості різання  $v$  до деякої межі ( $\cong 200$  м/хв) глибина наклепу  $h_n$  зростає, але при подальшому підвищенні  $v$  головним фактором впливу на  $h_n$  стає температурний фактор (явище знеміцнення), внаслідок чого  $h_n$  поступово зменшується; з підвищенням подачі  $S$  величина  $h_n$  зростає, тому що, відповідно, підвищується і ступінь пластичної деформації;

– величина переднього кута  $\gamma$  в зоні його додатних значень практично на  $h_n$  не впливає, при від'ємних значеннях величина кута ( $-\gamma$ ) стає суттєвою при визначенні  $h_n$ , іноді при  $\gamma = (-5^\circ)\dots(-15^\circ)$  глибина наклепу зростає в декілька разів.

Таблиця 6.1

Показники параметрів наклепу

Вид обробки	$U_n, \%$	$h_n, \text{мкм}$
Точіння звичайне та швидкісне	120...150	30...50
Точіння тонке	140...180	20...60
Фрезерування торцеве	140...160	40...100
Фрезерування циліндричне	120...140	40...80
Свердління та зенкерування	160...170	180...200
Розвертання	–	150...200
Протягування	150...200	20...75

Оптимізація кута  $\alpha$  у межах  $0^\circ \dots 15^\circ$  сприяє зниженню сили різання (зокрема, паразитної її складової, що пов'язана з так званою пружною післядією матеріалу).

Максимальні значення  $h_n$  будуть мати місце при механічній обробці високопластичних нетермооброблених сталей. Для зменшення наклепу треба якомога ретельніше доводити інструмент і мінімізувати радіус округлення різального клина інструмента.

Зараз у виробництві набули широкого розповсюдження так звані зміцнювальні технології: накатування, розкатування, віброгалтування тощо.

При порушенні умов здійснення цих процесів (великі припуски, завищені режими обробки тощо) параметри наклепу у поверхневому шарі можуть сягнути критичних значень, внаслідок чого розпочинається процес відшарування часток поверхневого шару від основного металу.

У процесі різання виділяється значна кількість тепла, внаслідок чого можливі так звані припали або, навпаки, часткове знеуглецьовування поверхневого шару та відпуск. На деяких марках сталей можлива поява локальних плям загартування та сітки мікротріщин.

У виробництві стан поверхневого шару контролюється ультразвуковим і магнітним дефектоскопами.

Після зняття силового та температурного полів у поверхневому шарі виникає ймовірність появи залишкових напруг; останні, як відомо, бувають трьох родів.

По-перше, це напруги I роду або макронапруги. Вони охоплюють простір, порівняний з розмірами деталі та мають пов'язану з її формами орієнтацію.

В якості величин, які характеризують залишкові напруги, приймають найбільш характерні точки епюри:  $\sigma_0$  – величину залишкових напруг, які діють поблизу поверхні;  $\sigma_{\max}$  – максимальну величину залишкових напруг;  $h_{\sigma_{\max}}$  – глибину залягання максимальних залишкових напруг;  $h_\sigma$  – загальну глибину поширення залишкових напруг.

Процес утворення залишкових напруг при обробці є дуже складним явищем. Необхідно враховувати величину і закон розподілу напруг безпосередньо від процесу формування заготовки



і від процесу обробки. Результуюча величина визначається спільним впливом усього технологічного процесу виготовлення деталі.

У загальному виді епюра розподілу тангенційних залишкових напруг у поверхневому шарі після обробки має три ділянки. Напруги стиску на першій ділянці епюри визначаються умовами тертя поверхневого шару деталі об задню поверхню інструмента, а напруги розтягу на другій ділянці визначаються умовами пластичного деформування металу в оброблюваному поверхневому шарі. Напруги на третій ділянці епюри є реакцією на напруги на другій ділянці.

Збільшення швидкості різання при точінні обумовлює підвищення температури в зоні обробки. Це полегшує процес обтікання матеріалом поверхневого шару різальних кромek інструмента, внаслідок чого формуються великі напруги розтягу, які охоплюють більш вузьку зону вздовж обробленої поверхні (рис. 6.8). Величина та глибина залягання напруг стиску у першій зоні епюри також зменшується, що пов'язано зі зниженням сил тертя на контактних поверхнях інструмента.

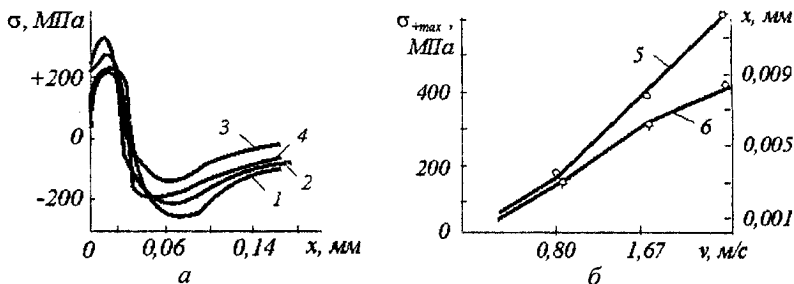


Рис.6.8. Вплив швидкості різання на залишкові напруги: а – оброблюваний матеріал ПП-Нп-30Х4М2М; 1 –  $v = 3,3$  м/с,  $S = 0,2$  мм/об,  $t = 2$  мм; 2 –  $v = 1,67$  м/с,  $S = 0,11$  мм/об,  $t = 1$  мм; 3 –  $v = 3,3$  м/с,  $S = 0,11$  мм/об,  $t = 1$  мм; 4 –  $v = 3,3$  м/с,  $S = 0,2$  мм/об,  $t = 2$  мм; б – оброблюваний матеріал ПП-Нп-25Х5ФМС;  $S = 0,15$  мм/об,  $t = 0,5$  мм; 5 – глибина поширення максимальних напруг розтягу, ( $x$ ); 6 – максимальна величина залишкових напруг розтягу, ( $\sigma_{\text{max}}$ ).

Матеріал інструмента – киборит

Вплив подачі визначається більш інтенсивним плином металу із зони деформації у напрямку задньої поверхні різця.

Вплив глибини різання на формування залишкових напружень менш значущий, ніж швидкості різання та подачі. Її збільшення погіршує обтікання матеріалом кромки різального інструмента, що сприяє зниженню  $\sigma_{+max}$ .

Збільшення радіуса при вершині різця сприяє зростанню впливу допоміжної кромки різального інструмента на утворення поверхневого шару, підвищує радіальну силу різання, що призводить до зниження напружень розтягу.

Саме вплив теплового фактора послаблює пластичне деформування.

Збільшення швидкості різання  $v$  обумовлює підвищення температури в зоні обробки. Це полегшує процес обтікання оброблюваним матеріалом різального леза інструмента, внаслідок чого формуються великі напруження розтягу, що охоплюють більшу вузьку зону вздовж обробленої поверхні. Дія подачі визначається більш інтенсивним плином металу із зони деформації у напрямку задньої поверхні різця. Вплив глибини різання на формування залишкових напружень набагато менший, ніж швидкості різання та подачі. Збільшення глибини різання впливає на обтікання оброблюваним матеріалом леза інструмента та сприяє зменшенню  $\sigma_{+max}$ .

Найменш істотний вплив на зміну характеристик залишкових напружень вносить лінійна швидкість деталі. Цей вплив значущий тільки до глибини поширення екстремальних напружень (3...5 мкм). Очевидно, незначущий вплив швидкості деталі обумовлений тим, що зміна рівня факторів зусилля і потужності теплового потоку джерела компенсується зменшенням тривалості теплового впливу на одиницю площі матеріалу зі зростанням швидкості деталі.

Шляхом зміни режимів обробки та параметрів заточування можна змінювати величину, а іноді і знак залишкових напружень. В якості прикладу наведемо вплив тільки двох факторів: швидкості різання  $v$  та переднього кута  $\gamma$ . Вплив швидкості різання пов'язаний з дією теплових факторів і залежить від хімічного складу, теплопровідності, фізико-механічних характеристик ма-

теріалу, спроможності його до структурних змін і багатьох інших чинників.

Поступовий перехід від додатних значень передніх кутів ( $+\gamma$ ) до від'ємних ( $-\gamma$ ) збільшує ступінь пластичної деформації та веде до загального зниження у поверхневому шарі напруг розтягу і появи напруг стиску.

Вплив інструментального матеріалу на залишкові напруги визначається рівнем температур, що виникають у зоні різання. Зокрема, точіння різцями з твердих сплавів, внаслідок меншої теплопровідності інструментального матеріалу і більшого коефіцієнта тертя, супроводжується підвищеною температурою в зоні різання і сприяє формуванню напруг розтягу більшої величини (порівняно з обробкою інструментами з ПНТМ).

Загальна фізична картина взаємозалежності залишкових напруг і параметрів процесу різання більш складна, тому що, крім пластичних деформацій, у поверхневому шарі мають місце фазові перетворення та інші явища.

У випадках, де виключена поява фазових перетворень, основною причиною виникнення великих залишкових напруг може бути миттєве локальне нагрівання поверхні внаслідок самого процесу різання.

Додамо, що в сучасному ремонтному виробництві відсутні прості та надійні прилади для вимірювання залишкових напруг, а ті методи, які використовуються, мають суто лабораторний характер, тому вирішення цієї проблеми буде сприяти суттєвому підвищенню якості та надійності машин.

Зараз основними методами визначення залишкових макро-напруг є механічні та рентгенівські. Механічні (руйнівні та неруйнівні) бувають розрахунковими та експериментальними.

Рентгенівські засоби використовуються звичайно для визначення величини та знаку залишкових напруг у деталях невеликих розмірів і складної форми, а також у тонких поверхневих шарах.

Перспективним має стати метод їх вимірювання на базі відповідних змін електромагнітних властивостей поверхневих шарів, пов'язаних із залишковими напругами, але на виробництві немає досконалих промислових зразків відповідних приладів.

У деяких випадках доцільно використовувати для дослідження деформацій та залишкових напруг метод голографічної інтерференції.

Мікронапруги II та III родів досліджуються, в основному, рентгеноструктурним аналізом або оптичною мікроскопією полірованих металевих поверхонь. Пластична деформація матеріалу оброблюваної поверхні призводить до зміни розмірів зерен та їх орієнтації, а також до розпаду зерен на окремі фрагменти і блоки, спотворює будову кристалічних ґраток. Кількість дефектів у кристалічних ґратках залежить від ступеня пластичної деформації. Недосконалість структури поверхневого шару характеризується наступними параметрами:

$l_\phi$  і  $l_{bl}$  – розміри фрагментів і блоків;  $\alpha_\phi$  і  $\alpha_b$  – кути орієнтації фрагментів і блоків;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  і  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  – розміри та кути, що визначають будову кристалічних ґраток;  $\rho$  – щільність дислокацій;  $c$  – концентрація вакансій тощо.

Великий вплив на властивості поверхневих шарів має дифузійне проникнення чужорідних атомів у метал деталі. Внаслідок дифузії можуть виникати різного роду сполуки основного металу з проникаючими речовинами. В окремих випадках дифузія може призвести до збіднення поверхневого шару на деякі легуючі елементи, знеуглецювання решти поверхонь, що призводить до крихкості поверхневого шару.

Поряд зі зміною структури поверхневого шару при обробці відбуваються хімічні перетворення на обробленій поверхні. Хімічний склад сполук, які утворюються, визначається складом контактних матеріалів і навколишнього середовища. В оже-спектрах із обробленої поверхні сталі після контактування з інструментами з ПНТМ на основі КНБ присутні лінії, що відповідають матричним елементам полікристала BN, а спектри вторинних іонів мають піки, які відповідають іонам з'єднань типу  $BN^+$ ,  $MeO^+$ ,  $MeC^+$ ,  $MeB^+$ ,  $Me^+$ . Хімічні сполуки металів із азотом, бором мають підвищену твердість, міцність, зносостійкість тощо. Таким чином, обробка сталевих деталей різцями з полікристалів на основі КНБ сприяє підвищенню їхніх експлуатаційних властивостей за рахунок утворення на поверхні нових хімічних сполук.

Кількісні оцінки фізико-хімічних властивостей поверхні ще не розроблено.

### 6.3. Комплексна оцінка стану поверхневого шару деталей

Як видно з вищенаведеного, стан поверхневого шару деталей після обробки визначається значною кількістю різних параметрів. Кореляційний аналіз показує, що між багатьма параметрами існує тісний зв'язок (табл. 6.2). З цієї причини для комплексної оцінки стану поверхневого шару може використовуватися обмежений набір таких характеристик, як, наприклад:  $S_m$  – середній крок нерівностей;  $\Delta$  – критерій Комбалова-Крагельського,  $\sigma_{+max}$  – максимальні залишкові напруги розтягу в поверхневому шарі.

Досліди показують, що у багатьох випадках більш ефективною є комплексна оцінка шорсткого шару на поверхні. В якості такої оцінки може бути використаний безрозмірний критерій Комбалова-Крагельського:

$$\Delta = \frac{R_{max}}{1} \cdot \frac{1}{rb^n}$$

Таблиця 6.2

Коефіцієнти парної кореляції між параметрами стану поверхневого шару після точіння

Параметр	$Ra$	$S_m$	$tg\alpha$	$\rho$	$\Delta$	$\sigma_{max}$	$h_0$
$Ra$	–	–0,91	0,95	–0,17	0,78	0,68	0,44
$S_m$		–	–0,40	0,94	–0,60	–0,66	–0,75
$tg\alpha$			–	0,27	0,81	0,29	0,42
$\rho$				–	–0,58	–0,89	–0,65
$\Delta$					–	0,56	0,71
$\sigma_{max}$						–	0,52
$h_0$							–

Запропоновано комплексну характеристику якості поверхні, що враховує параметри шорсткості та фізико-механічні властивості поверхні:

$$D' = \frac{S_m \text{ и } H_m}{Ra},$$

де  $\theta = (1 - k^2)E$  – пружна стала матеріалу ( $k$  – коефіцієнт Пуассона);  $H_\mu$  – мікротвердість поверхні.

Для оцінки несучої здатності поверхні або її контактної жорсткості встановлено параметр, що об'єднує шорсткість, хвилястість, макровідхилення та ступінь наклепу поверхневого шару:

$$\Pi = \left( \frac{R_p^\nu W_p^2 H_p^2}{u_n} \right)^{\frac{1}{\nu+4}},$$

де  $R_p, W_p, H_p$  – висота зглажування для шорсткості, хвилястості та відхилення форми відповідно;  $u_n$  – ступінь зміцнення матеріалу виробу;  $\nu$  – параметр апроксимації початкової ділянки опорної кривої профілю.

Для комплексної оцінки якості поверхні тертя запропоновано параметр, який поряд з наведеними характеристиками містить і поверхневі залишкові напруги II-го роду:

$$C_x = \frac{(Ra W_z H_{max})^{\frac{1}{6}}}{t_m^{\frac{3}{2}} S_m^{\frac{1}{2}} u_n^{\frac{2}{3}} \lambda},$$

де  $\lambda = \left( \frac{\sigma_b - \sigma_{ост}}{\sigma_a} \right)^{t_y}$ ;  $\sigma_b, \sigma_{ост}, \sigma_a$  – відповідно часовий опір руйну-

ванню, поверхневі залишкові напруги II роду та діюче значення амплітудної напруги на поверхні тертя;  $t_y$  – параметр фрикційної втоми при пружному контакті;  $W_z, H_{max}$  – висота хвилястості та максимальна висота відхилення форми відповідно.

## ЗАКЛЮЧЕННЯ

Сучасний стан ремонтного виробництва характеризується підвищенням вимог до якості оброблюваних поверхонь, точності розмірів і форми поверхонь відновлюваних деталей, продуктивності їх виготовлення. Постійно розширюються номенклатура матеріалів, які мають поліпшені фізико-механічні або спеціальні властивості і використовуються для нанесення різного виду відновлювальних покриттів. За останні роки почало здійснюватись технічне преозброєння верстатного парку ремонтних підприємств. У зв'язку з великою вартістю цього устаткування підвищуються вимоги до вдосконалення та раціональності здійснюваних на ньому процесів різання, а також до надійності різального інструмента.

Тому успішне вирішення завдань з підвищення рівня лезової обробки в ремонтному виробництві можливе тільки за умови вивчення теоретичних основ обробки матеріалів, а також останніх досягнень у цій галузі.

Даний посібник у якому викладено основи лезової обробки матеріалів, буде сприяти підготовці інженерів, які успішно зможуть вирішувати виробничі завдання з удосконалення технологічних процесів ремонту машин і устаткування.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Баранчиков В. И., Тарапанов А. С., Харламов Г. А. Обработка специальных материалов в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2002. – 264 с.

2. Береснев В. М., Перлов Д. Л., Федоренко А. И. Экологически безопасные вакуумно-плазменные оборудование и технологии нанесения покрытий. – Харьков: ХИСП, 2003. – 300 с.

3. ГОСТ 25751–83. Инструменты режущие. Термины и определения общих понятий.

4. ГОСТ 25762–83. Обработка резанием. Термины и определения общих понятий.

5. Износостойкие наплавочные материалы и высокопроизводительные методы их обработки / И. А. Толстов, М. Н. Семиколенных, А. В. Баскаков, В. А. Коротков. – М.: Машиностроение, 1992. – 224 с.

6. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под общей ред. Н. В. Новикова. – М.: Машиностроение, 2005. – 555 с.

7. Лезвийный инструмент из сверхтвердых материалов: Справ. / Н. П. Винников, А. И. Грабченко, Э. И. Гриценко и др. – Киев, Техника, 1988. – 116 с.

8. Михайлов А. А. Обработка деталей с гальваническими покрытиями. – М.: Машиностроение, 1981. – 144 с.

9. Обработка износостойких покрытий / Под общей ред. Ж. А. Мрочка. – Минск: Дизайн ПРО, 1997. – 208 с.

10. Полонський Л. Г., Иванов В. П. Технологія ремонту та відновлення: Навч. посіб.– Житомир: ЖІТІ, 2003.– 221 с.

11. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами, и их применение: Справ. / В. П. Жедь, Г. В. Боровский, Я. А. Музыкант, Г. М. Ипполитов. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.

12. Режущий инструмент: Учебн. / Д. В. Кожевников, В. А. Гречишников, С. В. Кирсанов и др. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.

13. Рьзов Э. В., Клименко С. А., Гуцаленко О. Г. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями. – Киев: Наук. думка, 1994. – 180 с.



14. Сверхтвердые материалы. Получение и применение. В 6 т. / Под общей ред. Н. В. Новикова. – Т. 5. Обработка материалов лезвийным инструментом / Под ред. С. А. Клименко. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2006. – 316 с.

15. Северилов В. С., Полонський Л. Г., Клименко С. А. Теоретичні основи технології механічної обробки: Навч. посібн. – Житомир: ЖІТІ, 2002. – 272 с.

16. Спиридонов Н. В., Беляев Г. Я., Колчанов Э. А. Применение инструмента из безвольфрамовых твердых сплавов для механической обработки напыленных покрытий // Сверхтв. материалы. – 1989. – № 6. – С. 54–57.

17. Справочник по технологии резания металлов. В 2-х кн. / Под ред. Г. Шпура, Т. Штеферле. – М.: Машиностроение, 1985. – Кн. 1. – 616 с.

18. Справочник по технологии резания металлов. В 2-х кн. / Под ред. Г. Шпура, Т. Штеферле. – М.: Машиностроение, 1985. – Кн. 2. – 688 с.

19. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова. – М.: Машиностроение, 2001. – Т. 1. – 912 с.

20. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова. – М.: Машиностроение, 2001. – Т. 2. – 905 с.

21. Сулов А. Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.

22. Технологические основы управления качеством машин / А. С. Васильев, А. М. Дальский, С. А. Клименко и др. – М.: Машиностроение, 2003. – 256 с.

23. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / А. Г. Сулов, В. П. Федоров, О. А. Горленко и др. – М.: Машиностроение, 2006. – 448 с.

24. Точение износостойких защитных покрытий / С. А. Клименко, Ю. А. Муковоз, Л. Г. Полонский, П. П. Мельничук. – Київ: Тэхніка, 1997. – 144 с.

25. Фальковский В. А., Клячко Л. И. Твердые сплавы. – М.: Изд. дом "Руда и металл", 2005. – 416 с.

26. Харламов Ю. А., Будагьянц Н. А. Физика, химия и механика поверхности твердого тела: Уч. пособие. – Луганск: Изд-во ВУГУ, 2000. – 624 с.

27. Ящерицин П. И., Ефремов В. Д. Металлорежущие станки. – Минск: БГАТУ, 2001. – 446 с.

## ЗМІСТ

	Вступ	3
1.	Устаткування для лезової обробки	4
1.1.	Загальні відомості	4
1.2.	Характеристика верстатів	6
1.2.1.	Токарні верстати	6
1.2.2.	Фрезерувальні верстати	8
1.2.3.	Свердільні верстати	10
2.	Лезова обробка	11
2.1.	Матеріали для різальних інструментів	11
2.2.	Технологічні можливості методів лезової обробки	31
2.3.	Класифікація і види лезових інструментів	35
2.4.	Застосування змащувально-охолоджувальних технологічних середовищ	53
3.	Обробка інструментами, оснащеними швидкорізальними сталлями, твердими сплавами та мінералокерамікою	54
3.1.	Точіння зовнішніх циліндричних поверхонь	54
3.2.	Розточування	64
3.3.	Обробка торцевих поверхонь	65
3.4.	Обробка плоских і фасонних поверхонь	66
4.	Обробка інструментами, оснащеними ПНТМ на основі алмаза і КНБ	71
4.1.	Обробка інструментами з різальними елементами із синтетичних алмазів	71
4.2.	Обробка інструментами з різальними елементами із ПНТМ на основі щільних модифікацій нітриду бора	77
5.	Обробка навлених і напилених покриттів лезовими інструментами	89

5.1.	Матеріали для оснащення лезових інструментів для обробки покриттів	89
5.2.	Обробка різанням наплавлених і напилених покриттів	98
5.2.1.	Призначення припуску при обробці покриттів	10
5.2.2.	Вибір умов обробки покриттів	106
5.3.	Стійкість інструмента при точінні покриттів	112
5.4.	Режими різання при точінні наплавлених і напилених покриттів	116
5.5.	Обробка гальванічних покриттів	120
5.6.	Фрезерування та інші операції обробки деталей з покриттями	121
5.7.	Ефективність застосування інструмента, оснащеного ПНТМ, в ремонтному виробництві	129
5.8.	Методи підвищення стійкості інструмента при обробці наплавлених і напилених покриттів	137
6.	Стан поверхневого шару виробів після лезової обробки	144
6.1.	Шорсткість поверхні	144
6.2.	Фізико-хіміко-механічні властивості поверхневих шарів	154
6.3.	Комплексна оцінка стану поверхневого шару деталей	161
	Заключення	164
	Список рекомендованої літератури	165

Клименко Сергій Анатолійович  
Полонський Леонід Григорович  
Харламов Юрій Олександрович

## **ТЕХНОЛОГІЯ РЕМОНТУ ТА ВІДНОВЛЕННЯ (ЛЕЗОВА ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ В РЕМОНТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ)**

Навчальний посібник

Редактор  
Технічний редактор  
Комп'ютерний дизайн та верстка  
Макетування

*Л.В. Гончарук  
М.Ю. Копейкіна  
В.В. Грищенко  
В.В. Кондратенко*

Свідоцтво про внесення до Державного  
реєстру суб'єктів видавничої справи  
Серія ЖТ № 08 від 26 березня 2004 р.

---

Підп. до друку 26.05.2008 р. Формат 60x84 1/16.  
Папір офс. Гарнітура Таймс. Ум. друк.арк. 9,99.  
Наклад 300 пр. Зам. 19.

---

Редакційно-видавничий відділ  
Житомирського державного технологічного університету  
вул. Черняхівського, 103, м. Житомир, 10005