

ШИМКОВА І.В.
ГАРКУШЕВСЬКИЙ В.С.
ЦВІЛИК С.Д.
МАРУЩАК О.В.

ОБРОБКА КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ



НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ
ПОСІБНИК

ВІННИЦЯ - 2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА КОЦЮБИНСЬКОГО**

Факультет мистецтв і художньо-освітніх технологій

**Кафедра образотворчого, декоративного мистецтва,
технологій та безпеки життєдіяльності**

**Шимкова І. В.,
Гаркушевський В.С.,
Цвілик С. Д.,
Марущак О. В.**

ОБРОБКА КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

ВІННИЦЯ – 2024

DOI: 10.31652/621.91(075.8)-1-119

УДК 621.91(075.8)

Ш 61

Рецензенти:

Петрук В. Г., доктор технічних наук, професор Вінницького національного технічного університету;

Іванчук А.В., кандидат педагогічних наук, доцент Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського

Обробка конструкційних матеріалів: навчально-методичний посібник / Шимкова І. В., Гаркушевський В.С., Цвілик С. Д., Марущак О. В. Вінниця: ВДПУ, 2024. с. 119

Навчально-методичний посібник містить комплекс практичних та лабораторних робіт з дисципліни «Обробка конструкційних матеріалів». У посібнику представлено сім практичних робіт загальним обсягом 14 годин, які охоплюють вивчення кінематичних схем та принципів роботи металорізальних верстатів, а також вісім лабораторних робіт загальним обсягом 16 годин, присвячених дослідженню процесів різання металів, вивченню різальних інструментів та методів обробки матеріалів.

Посібник призначений для студентів предметної спеціальності 014.10 Середня освіта (Технології) закладів вищої освіти та може бути корисним для викладачів, майстрів виробничого навчання та фахівців машинобудівної галузі.

Рекомендовано до друку Вченою радою факультету мистецтв і художньо-освітніх технологій

Протокол № 10 від «4» квітня 2024 року

© Шимкова І. В.,
© Гаркушевський В.С.,
© Цвілик С. Д.,
© Марущак О. В.

ЗМІСТ

Вступ	4
Лабораторна робота №1.	
Вивчення матеріалів для різальних інструментів	5
Лабораторна робота №2.	
Вивчення конструкції та геометричних параметрів різців	22
Лабораторна робота №3.	
Вивчення явища усадки стружки	37
Лабораторна робота №4.	
Вплив елементів режиму різання і геометрії різця на температуру різання при точінні.....	42
Лабораторна робота №5.	
Вивчення будови й принципу роботи ділильної головки	51
Лабораторна робота №6.	
Дослідження впливу подачі та глибини різання на допустиму швидкість різання	57
Лабораторна робота №7.	
Вплив елементів режиму різання і геометрії різця на сили різання при точінні	61
Лабораторна робота №8.	
Вивчення електрофізичних методів обробки матеріалів	65
Практична робота №1.	
Аналіз кінематики верстатів	71
Практична робота №2.	
Головний рух токарно-гвинторізного верстата, визначення особливостей руху подач	80
Практична робота №3.	
Вивчення особливостей налагодження та нарізання різьби на токарно-гвинторізному верстаті	88
Практична робота №4.	
Вивчення кінематичної схеми та принципу роботи фрезерного верстата	95
Практична робота №5.	
Вивчення кінематичної схеми та принципу роботи шліфувального верстату	103
Практична робота №6.	
Вивчення кінематичної схеми та принципу роботи вертикально-свердлильного верстату	107
Практична робота №7.	
Вивчення кінематичної схеми та принципу роботи зубодовбального верстату	112
Рекомендована література	117

Вступ

Навчально-методичний посібник з обробки конструкційних матеріалів призначений для формування у студентів теоретичних знань та практичних навичок з технології механічної обробки матеріалів. Посібник складається з двох частин: практичні роботи з вивчення металорізальних верстатів та лабораторні роботи з дослідження процесів різання металів.

Метою практичних робіт є закріплення теоретичних знань та набуття практичних навичок з аналізу кінематичних схем, налаштування та експлуатації металорізальних верстатів різного призначення. Лабораторні роботи спрямовані на експериментальне дослідження процесів різання, вивчення конструкцій та геометричних параметрів різальних інструментів, дослідження впливу режимів різання на процес обробки матеріалів.

У результаті виконання практичних та лабораторних робіт студенти набудуть компетентностей:

- аналізувати кінематичні схеми верстатів різного призначення;
- визначати особливості головного руху та руху подач верстатів;
- налаштовувати верстати на різні режими роботи;
- розуміти принципи роботи основних механізмів верстатів;
- досліджувати процеси різання металів;
- визначати оптимальні режими різання;
- аналізувати конструкції та геометричні параметри різальних інструментів;
- практично застосовувати знання для вирішення технологічних задач.

Кожна практична та лабораторна робота містить: теоретичні відомості; порядок виконання роботи; контрольні запитання; вимоги до оформлення звіту.

Практичні та лабораторні роботи розроблені відповідно до освітньо-професійної програми підготовки фахівців та спрямовані на формування як загальних (ЗК2, ЗК8, ЗК9, ЗК11, ЗК13), так і фахових компетентностей (ФК2, ФК12, ФК13, ФК14, ФК15), що забезпечують досягнення програмних результатів навчання ПРН13, ПРН16, ПРН17, ПРН19, ПРН20.

Лабораторна робота № 1

Тема: ВИВЧЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ РІЖУЧИХ ІНСТРУМЕНТІВ

Мета роботи: вивчити основні групи матеріалів для ріжучих інструментів, їх властивості і області застосування; практично засвоїти принципи їх маркування; навчитися вибирати різальний інструмент для обробки заданого матеріалу.

Обладнання та інструменти: ріжучий інструмент (різці, свердла, фрези, абразивні круги тощо).

Зміст звіту:

1. Назва і мета лабораторної роботи.
2. Підготовка до виконання лабораторної роботи.
3. Результати виконання завдань.
4. Висновки.

Теоретичні відомості

У сучасному машинобудуванні застосовують велику кількість найрізноманітніших різальних інструментів. А кількість типорозмірів їх обчислюється десятками тисяч.

Продуктивність різального інструменту значною мірою залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу, з якого виготовлено. Наприклад, при роботі різцем із швидкорізальної сталі продуктивність у 3-5 разів вища, ніж при роботі різцем з вуглецевої інструментальної сталі. Застосування ж різців, виготовлених з твердих сплавів, дає можливість збільшити продуктивність приблизно у 20-30 разів.

Досягнення сучасного машинобудування стали можливими завдяки виготовленню нових інструментальних матеріалів, здатних витримати великі швидкості різання.

У процесі різання різальна частина інструменту зазнає великого тиску, тертя і нагрівання. Ці режими роботи зумовлюють ряд вимог, яким повинні відповідати матеріали, призначенні для виготовлення різального інструменту.

Робоча частина інструменту повинна перш за все виготовлятися з матеріалу з високою *твердістю*. Різання можливе тільки тоді, коли твердість матеріалу інструменту у кілька разів перевищує твердість оброблюваного матеріалу. Найбільш високу твердість мають такі різальні матеріали як алмаз і кубічний нітрид бору (*див. табл.1*), а тверді сплави та мінералокераміка значно твердіші, ніж загартовані інструментальні сталі.

Однак під впливом високої температури при різанні твердість багатьох матеріалів знижується і, зокрема, твердість інструмента може виявитися недостатньою для здійснення різання.

Властивість матеріалу зберігати необхідну твердість при високій температурі називається *теплостійкістю* (*червонотійкістю*), яка характеризується критичною температурою. Інструмент при температурі вище

критичної ефективно працювати не буде (див. табл. 1). Очевидно, що ця температура визначає *допустиму швидкість різання*.

Важливість *механічної міцності* для інструментальних матеріалів обумовлена особливістю навантаження різальних зубів: консольним розташуванням (закріпленням) зуба, можливістю ударних навантажень, роботою різальних елементів на вигинання, розтягування і стискання. Тому *межі міцності на вигин та стиск і ударна в'язкість* є основними показниками міцності інструментальних матеріалів.

Під впливом тертя, що виникає під час різання, різальна частина інструменту спрацьовується і він затуплюється. Чим швидше відбувається спрацювання, тим нижча стійкість інструменту. Тому інструментальні матеріали мають бути *стійкими проти спрацювання*. Зносостійкість характеризується роботою тертя, віднесеною до величини стертої маси матеріалу.

Технологічність, тобто ступінь відповідності технології обробки тиском, термічній, механічній та ін., є властивістю інструментального матеріалу, яка визначає можливість використання його в конструкції різального інструменту. Так, матеріали, які погано шліфуються, будуть незручні при виготовленні і переточуванні інструменту, а занадто вузький температурний інтервал нагрівання матеріалу при термообробці може призвести до браку. Технологічність матеріалу може оцінюватися і такими його властивостями, як зварюваність, здатність до паяння та ін.

Матеріал, який застосовується для виготовлення різальних інструментів, повинен також бути *недефіцитним* і мати *низьку вартість*. Це пояснюється тим, що витрата різального інструменту в цілому по країні дуже велика, а висока вартість інструменту здорожує вартість виготовлення деталей. Для економії інструментального матеріалу інструмент часто роблять складеним. Для виготовлення державок, корпусів, хвостовиків інструментів застосовують дешеві конструкційні вуглецеві сталі (40, 45, 50, 40X, 45X, 45XH та ін.). В більшості випадків конструкційні сталі піддають термообробці з метою підвищення твердості (HRC 35-45) та зносостійкості. Для корпусів твердосплавних свердел, зенкерів, і розверток також використовують інструментальні і леговані сталі (У7А, У8А, 9ХС та ін.).

Різні металорізальні інструменти працюють не в однакових умовах. Одні з них знімають тонку стружку при низькій швидкості різання, інші, навпаки, знімають товсту стружку і працюють при підвищених швидкостях. Багато інструментів в процесі роботи нагріваються до високої температури, а деякі залишаються майже холодними. Не всі інструменти зазнають однакових за величиною сил тертя об оброблюваний матеріал. Тому відповідний матеріал для виготовлення інструменту вибирають залежно від умов його роботи. Для виготовлення різального інструменту застосовують вуглецеву інструментальну, леговану інструментальну і швидкорізальну сталі, тверді сплави, мінералокерамічні і абразивні матеріали, алмази.

Таблиця 1.

Властивості інструментальних матеріалів

Матеріал	Марка	Мікро- твердість, МПа	Теплостій- кість, °С	Межа міцності, МПа		Ударна в'язкість, Дж/м ² ·10 ⁻⁶	Коефіцієнт відносної швидкості різання
				на згин	на стисне- ння		
Тверді сплави	Г15К6 BK8	27500- 15700	850-900	1130 1570	3900 4410	2,94-5,88	4,3
Швидкоріжуча сталь	P18	13200	600	3530	3530	9,81	1,0
Мінералокераміка	ЦМ332	22500	1200	390	1470	0,98	5,0-7,0
Кубічний нітрид бора	Ельбор	90700	1300	785	--	--	6,0-8,0
Легована сталь	ХВГ	11800	230	3430	3430	9,81	0,6
Вуглецева сталь	У10Л	12800	220	2940	2940	9,81	0,4
Алмази	А	98700	700	290	1960	--	1,5

Вуглецеві інструментальні сталі (ГОСТ 1435-74). Для виготовлення різального інструменту, частіше ручного, застосовують вуглецеві інструментальні сталі з вмістом вуглецю від 1 до 1,3%. Це високоякісні сталі марок У8А, У10А, У11А, У12А, У13А. Буква **У** вказує на те, що сталь вуглецева, цифри – вміст вуглецю в десятих %, буква **А** в кінці марки свідчить, що сталь високоякісна з меншим вмістом шкідливих елементів **С** і **Р**. Після відповідної термообробки (гартування та відпуск) вони можуть мати твердість HRC 50-62. Проте різальний інструмент з вуглецевих сталей витримує нагрівання не вище 250 °С. при більшій температурі нагрівання твердість інструменту різко знижується і він швидко втрачає свої різальні властивості. Тому швидкість різання інструментами, виготовленими з цих сталей, не перевищує 10 – 15 м/хв.

Згідно з міжнародними нормами **ISO4957** вуглецеві інструментальні сталі позначаються **WS**.

Леговані інструментальні сталі (ГОСТ5950-73) відрізняються від вуглецевих наявністю в їхньому хімічному складі кількох легуючих елементів до 6 %: хрому (Cr), молібдену (Mo), ванадію (V), кремнію (Si) та ін. Після відповідної термообробки леговані сталі мають твердість HRC - 64. Теплостійкість їх лежить в межах 250 – 300 °С. Леговані інструментальні сталі мають кращі механічні властивості порівняно з вуглецевими, особливо ударну в'язкість. Різальні інструменти з легованих сталей працюють з швидкостями різання 15 – 25 м/хв. Внаслідок великої в'язкості ними можна обробляти й крихкі матеріали.

З легованих сталей найбільшого застосування у виробництві металорізального інструменту набули хромові (9Х, Х), хромокремністі (6ХС,

9XC), хромовольфраміві (XB5, 4X8B2) і хромовольфрамомаргенцевисті (XBГ, 9XBГ) сталі. З них виготовляють мітчики, плашки, свердла, розвертки, різці, протяжки, фрези та інший різальний інструмент.

Низьколеговані сталі мають міжнародне позначення згідно ISO4957 **SP** (Special alloy tool steel). Високолеговані сталі позначаються **HP** (High alloy tool steel) і містять більше 5% легуючих елементів, до 2% вуглецю і до 12% хрому і відповідають нашим X12 і X12Ф.

Швидкорізальні сталі (ГОСТ19265-73) відносяться до сталей спеціального призначення і мають найбільшу питому вагу серед інструментальних матеріалів. Їх використовують головним чином для виготовлення металорізального інструменту (до 60% всіх лезових інструментів), а також – тяжко навантажених штампів холодного видавлювання та деталей, які працюють при нагріві (підшипники кочення, елементи паливної апаратури). Ці сталі більш теплостійкі у порівнянні з вуглецевими і легуваними, тому можуть працювати при більших швидкостях різання (45 - 60 м/хв). Найважливішим легуючим елементом, який входить в склад цих сталей, є вольфрам (6-18%), крім того хром, молібден, кобальт, ванадій. Вміст шкідливих домішок сірки та фосфору, які збільшують крихкість сталі (сірка надає червоноломкість, а фосфор – холодноломкість) обмежують відповідно до 0,015% і 0,03%.

Їх високі різальні властивості (твердість HRC 62 - 69, теплостійкість 615-640 °С і міцність на згин 2,5-4,0 ГПа) забезпечує спеціальна термообробка: гартування при температурі 1240-1280 °С з наступним потрійним високим (550-650 °С) відпуском для зменшення кількості залишкового аустеніту.

Швидкорізальні сталі в залежності від теплостійкості ділять на сталі *нормальної, підвищеної і високої* теплостійкості.

Найбільш розповсюджені (до 75-80% від загальної кількості) сталі нормальної теплостійкості (615 – 620 °С) марок P9, P18, P12, P6M5, P6AM5, P8M3, P6M3. Їх використовують для обробки конструкційних матеріалів з $\sigma_{\text{в}} < 1000$ МПа.

Сталі підвищеної теплостійкості (625-640 °С) додатково легують кобальтом і ванадієм. Кобальт значно підвищує теплостійкість і твердість сталі. Це сталі P9K10, P9K5, P9M4K8, P6M5K5, P10K5Ф5, P18Ф2K8M, P12Ф4K5, P12M3Ф2K8. Вони застосовуються для обробки жароміцних сталей, титанових сплавів, нержавіючих сталей, а також конструкційних сталей з $\sigma_{\text{в}} > 1000$ МПа. Найкраща з них P18Ф2K8M (W - 18%; V - 2%; Co - 8%; Mo - 1%). Вона має твердість HRC 67-68 і застосовується для обробки сталей з $\sigma_{\text{в}} \geq 1600$ МПа. Період стійкості її в 3 рази вищий, ніж у сталей нормальної теплостійкості.

Сталі високої теплостійкості – це сталі з пониженим вмістом вуглецю (0,05-0,15%). Вони мають високу твердість (68-69 HRC), теплостійкість (700- 730 °С), зносостійкість, теплопровідність, при задовільній міцності. Основні легуючі елементи: Co - (16-25%), W - (11-20%), Mo - (4-7%). Їх зміцнення відбувається за рахунок виділення інтерметалідів, а не карбідів, тому вони називаються сталями з інтерметалідним зміцненням. Це сталі B11M7K23, B18M7K25, B14M7K26 вони використовуються для обробки титанових сплавів і нержавіючих сталей. Зносостійкість їх в 30-50 раз вища інструментальної сталі P18.

У зв'язку з дефіцитом вольфраму розроблено безвольфрамову сталь 11M5Ф, яка містить, %: С - 1,1; Мо - 5,5; Cr - 4; V - 1,5 (твердість 62-64 HRC, теплостійкість 620 °С, міцність на згин 3,4-4,0 ГПа) і використовується для обробки відпалених вуглецевих або легованих конструкційних сталей і кольорових металів, дереворізального інструменту.

Для зменшення карбідної неоднорідності практикують виготовлення інструментальних сталей методами порошкової металургії. В позначеннях таких сталей вводять літери «МП», наприклад Р6М5К5-МП.

Швидкорізальна сталь – матеріал, який дорого коштує. Тому дуже часто різці, свердла, фрези, мітчики та інші різальні інструменти роблять складеними: робочу частину – з швидкорізальної сталі, а неробочу – з вуглецевої конструкційної сталі.

Згідно з міжнародними нормами швидкорізальна сталь, яка має у своєму складі до 12% легуючих компонентів позначається **SS**, а коли більше 12%, то – **HSS**.

Поява **металокерамічних твердих сплавів** була справжньою революцією в обробці металів різанням. Застосування їх дало можливість збільшити швидкість різання у 8 – 10 разів порівняно з швидкорізальними сталями.

Тверді сплави виготовляють методом порошкової металургії у вигляді пластинок певної форми і розмірів. Порошки карбідів вольфраму (WC), титану (TiC), і танталу (TaC) змішують у певній пропорції з кобальтом (Co), пресують і випікають при температурі близько 1900 °С. Карбіди тугоплавких металів є основою твердих сплавів, а кобальт зв'язкою.

Їх твердість 90-96 HRA, міцність на стиск $\sigma_{ст}=4-6$ ГПа, але відносно низька міцність на згин $\sigma_{зг}=0,9-1,6$ ГПа (у швидкорізальної сталі $\sigma_{зг}=3-3,5$ ГПа). Теплостійкість твердих сплавів різних марок становить 800-1100 °С, що дозволяє значно підвищити швидкість різання (до 150-200 м/хв). Великий недолік твердих сплавів – підвищена крихкість. Збільшення вмісту кобальту в твердих сплавах збільшує їхню в'язкість, проте при цьому значно знижується стійкість проти спрацювання.

Тверді сплави, які застосовують для виготовлення різального матеріалу, залежно від хімічного складу, поділяють на три групи:

1. *Вольфрамові* (однокарбідні) тверді сплави (ВК), що складаються з зерен карбіду вольфраму, зцементованих кобальтом (сплави ВК2, ВК4, ВК6 та інші). Цифрою вказано відсотковий вміст Co, а решта – WC. Із збільшенням вмісту кобальту зменшується твердість сплаву і зростає пластичність, тому для чорнової обробки застосовують марки ВК8, ВК10, а для чистової – ВК3, ВК4. Згідно з нормами ISO однокарбідні у своєму позначенні мають букву К (K01, K05, K10, K20, K30, K40) і фарбуються у червоний колір. Маркування ведеться не по хімічному складу, а по механічних (експлуатаційних) властивостях, тому деякі однокарбідні тверді сплави не обов'язково будуть у марці мати букву К. В деякій технічній літературі зустрічається позначення HW.
2. *Титановольфрамові* (двокарбідні) тверді сплави (ТК), які складаються з зерен твердого розчину карбіду вольфраму в карбіді титану та

надлишкових зерен карбіду вольфраму, зцементованих кобальтом (сплави Т14К8, Т15К6, Т30К4 та ін.). Згідно з нормами ISO їх маркування починається з букви Р (Р01, Р10, Р15, Р20, Р30, Р40) і фарбуються в синій колір, в деякій літературі вони позначаються НТ.

3. *Титанотанталовольфрамові* (трьохкарбідні) тверді сплави (ТТК), які складаються з зерен твердого розчину: карбіду титану, карбіду танталу, карбіду вольфраму, зцементованих кобальтом (сплави ТТ7К12, ТТ7К15, ТТ20К9 та ін.). Згідно з нормами ISO їх маркування починається з букви М (М10, М20, М30, М40), або НМ, колір жовтий.

Тверді сплави вольфрамової групи більш зв'язані і менш крихкі ніж титановольфрамові. Це пояснюється тим, що в останніх міститься більша кількість вільних карбідів титану, які дуже крихкі. Тому тверді сплави групи ВК, як більш в'язкі, застосовують для обробки чавуну та інших крихких матеріалів, у процесі різання яких утворюється стружка надлому. Для стружки цього виду характерне те, що центр її тиску на передню грань різця міститься безпосередньо біля різальної кромки, що нерідко призводить до її викришування. Якщо в цьому випадку застосувати сплави групи ТК, міцність яких ще менша, то стійкість різця буде ще нижча. Титановольфрамові сплави, твердість та стійкість, яких проти спрацювання вищі, застосовують для обробки незагартованих сталей та інших пластичних матеріалів, при різанні яких утворюється зливна стружка. Ця стружка дуже стирає передню грань різця.



Рис. 1. Різновиди твердосплавних пластин для різальних інструментів

Введення карбіду танталу в сплави групи ТК сприяє підвищенню міцності, в'язкості і дрібнозернистості структури, що збільшує стійкість їх проти спрацювання і зменшує схильність до перепалу. Проте вартість танталу дуже висока, і тому сплави цієї групи не набули великого поширення.

Дослідженнями встановлено, що експлуатаційні властивості твердого сплаву залежить не тільки від хімічного складу, а й від структури, тобто від величини зерна фази карбіду вольфраму. Із збільшенням розміру зерен міцність

сплаву зростає, а стійкість проти спрацювання знижується, і навпаки. Це дало можливість створити сплави з підвищеною міцністю при задовільній стійкості проти спрацювання.

Сплави дрібнозернистої структури (розміри зерен до 0,5 мкм) позначають літерою «М», а крупнозернистої – «В», яка стоїть за цифрою, що показує вміст кобальту. Сплави середньозернистої структури умовного позначення не мають.

Велика увага приділяється розробці нових твердих сплавів, що не містять карбиду вольфраму (*безвольфрамові*), який замінено карбідом титану. Для зв'язки використовується нікель і в невеликій кількості молібден. Ці сплави (КНТ16, ТН20, ТН30, ТМ1, ТМ3, КХН30) характеризуються окалиностійкістю, низьким коефіцієнтом тертя, пониженою схильністю до адгезії з оброблюваним матеріалом, але мають низьку теплопровідність і нижчу міцність, яка понижується при підвищенні температури. Їх застосовують для напівчистої і чистої обробки конструкційних низьколегованих сталей і чавунів, добре показали себе при обробці феритних сплавів, нікелю, міді, мельхіору.

Застосування твердих сплавів розширюється і становить для різців 95%, фрез – 4,5%, для осьового інструменту близько 1% їх загального випуску. У ряді випадків ріжучі пластини сплавів покривають тонким (5 - 10 мкм) шаром зносостійкого матеріалу (карбиду, нітриду карбонітриду титану, тощо), що підвищує стійкість пластин у 2-3 рази.

Поряд з виготовленням з твердих сплавів пластинок останнім часом з них виготовляють також монолітні різальні інструменти: свердла, фрези, фасонні різці тощо. Різальний інструмент такої складної форми виготовляють з пластифікованих заготовок дрібнозернистих твердих сплавів. Як пластифікатор у порошок твердого сплаву вводять 7 – 9 % парафіну. Спресовані неспечені заготовки з пластифікованого твердого сплаву добре обробляються точінням і т.п. оброблені таким способом заготовки спікають, а потім заточують і шліфують.

Із пластифікованого сплаву фасонну заготовку можна також зробити способом пресування у прес-формах, що економічно вигідно при виготовленні великої партії інструментів.

Для виготовлення інструментів з пластифікованих сплавів використовують марки: ВК6, ВК6М, ВК10, ВК10М, ВК15, ВК20.

Інститутом надтвердих матеріалів ім. В.М.Бакуля НАН України розроблені нові тверді сплави (ВН і ВКН), які за своїми властивостями близькі до сплавів ВК з однаковою кількістю зв'язки. Розробка цих інструментальних матеріалів викликана відсутністю в Україні необхідної сировинної бази (кобальту). Дослідження експлуатаційних властивостей ВН6, ВН8, ВН10, ВН15 підтвердило їх добру якість при обробці різанням чавунів, сталей, в буровому і штамповому інструменті. Собівартість сплавів на нікелевій основі на 10-20% нижча ніж сплавів ВК.

Кожна марка твердого сплаву може ефективно застосовуватися лише в конкретних умовах.

Згідно класифікації, розробленої міжнародною організацією зі стандартизації (ISO) тверді сплави поділяю на три групи ([табл.4](#)). Сплави групи

Р призначені для обробки матеріалів, що дають зливну стружку (в основному сталей), сплави групи М - для обробки нержавіючих, жароміцних сталей і титанових сплавів. Сплави групи К застосовують при обробці малопластичних матеріалів, кольорових сплавів, пластмас, деревини, чавуну.

Швидкорізальна сталь і тверді сплави, хоч і забезпечують високу продуктивність процесу різання, але дорогі, оскільки до їх складу входять такі елементи, як вольфрам, хром, титан, кобальт та ін. тому дуже важливо було знайти такі інструментальні матеріали, які маючи високі різальні властивості, були б і дешевими.

Таким інструментальним матеріалом є **мінералокераміка**, основу якої становить спечений окис алюмінію. Поряд з низькою собівартістю мінералокерамічні інструментальні матеріали мають ще ряд переваг порівняно з твердими сплавами:

1. підвищену теплостійкість (близько 1200 °С), яка дає можливість вести обробку матеріалів з швидкістю різання до 3700 м/хв;
2. високу стійкість проти спрацювання, яка дає можливість застосовувати мінералокераміку для інструментів, до яких висуваються особливі вимоги щодо розмірної стійкості;
3. малу спорідненість з металом, яка зменшує схильність до злипання з оброблюваним матеріалом і знижує наростування, що підвищує якість обробки;
4. більша економічність завдяки дешевизні матеріалу і відсутності або малому вмісту таких компонентів як вольфрам, титан, кобальт та ін.

До недоліків мінералокераміки слід віднести: малий опір руйнуванню від напружень розтягування, понижена пластичність, низька ударна в'язкість.

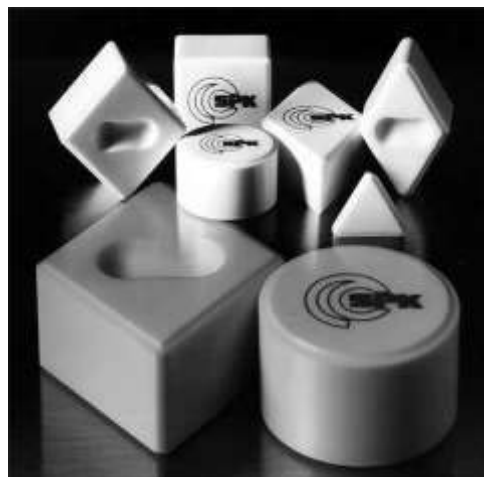


Рис. 2. Різальні пластинки з білої кераміки

В залежності від хімічного складу і способу виробництва мінералокерамічні матеріали поділяються на три групи.

1) *Оксидна (біла) кераміка* складається з 99% оксиду алюмінію (Al_2O_3) з незначними домішками оксиду магнію (MgO) і інших елементів розмірами зерен – біля 1-2 мкм. До неї відносяться марки: ВО-13 (ТУ 48-19- 4204-79), ЦМ-332 і ВШ-75 (ТУ 2-036-788-82).

Пластинки з білої кераміки виготовляють методом холодного пресування з наступним спіканням (рис. 2). Низька міцність на згин ($\sigma_{zg}=0,3-0,4$ ГПа) і термоциклічна втома дозволяють використовувати ці матеріали тільки для чистових і напівчистових операцій при наявності вібростійкого обладнання, але швидкість різання може досягати 300-600 м/хв. Основна область застосування – чистова обробка сірих чавунів і негартованих сталей.

Оксидно-карбідна (чорна) кераміка (марки В-3, ВОК-60, ВОК-63 (ГОСТ 25003-81) складається з оксиду алюмінію (60-80%) і карбідів тугоплавких металів (TiC, WC, MoC) – до 40%.

Пластинки оксидно-карбідної кераміки одержують методом гарячого пресування в графітових прес-формах, тому вони дорожчі. Вони мають дрібнішу структуру ніж з білої кераміки, вищу твердість і зносостійкість, краще сприймають термічні навантаження. Але в порівнянні з твердими сплавами їх міцність і опір термоциклічним навантаженням значно менші, тому вони використовуються тільки для чистової і напівчистової обробки (рис. 3).



Рис. 3. Різальні пластинки з чорної кераміки

Оксидно-карбідна кераміка служить, в основному, для обробки відбілених чавунів, цементованих, гартованих і термічно покращених сталей. Вона витримує в процесі різання температуру до 1300 °С.

Оксидно-нітридна кераміка складається з нітриду кремнію і тугоплавких металів з домішками оксиду алюмінію і деяких інших компонентів – це матеріали картиніт ОНТ20 (ТУ 2-036-087-82), і силініт-Р ТУ 06-339-78). При твердості HRA 94-96 вони забезпечують швидкість різання 1500 м/хв. Картиніт використовують для обробки загартованих сталей (HRC 30-55) ковких, модифікованих і відбілених чавунів (HB 300- 600), термопокращених сталей (рис. 4).

Силініт Р займає проміжне місце між твердими сплавами на карбідній основі і надтвердими матеріалами на основі алмазу і нітриду бору. Дослідження показали, що його можна застосовувати при чистовій обробці чавуну, сталей сплавів алюмінію і титану. Основна його перевага в не дефіцитності вихідних матеріалів.

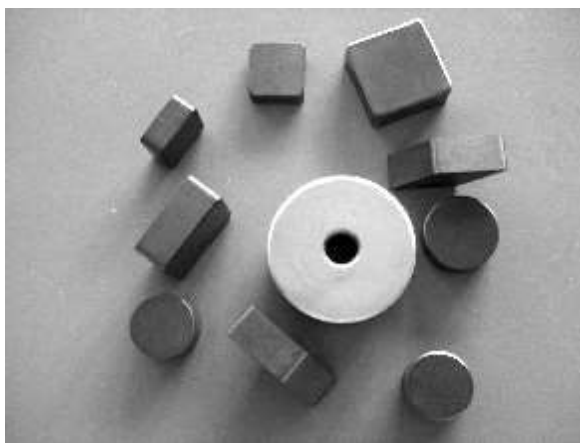


Рис. 4. Різальні пластинки з оксидно-нітридної кераміки

Мінералокераміку використовують: для оснащення різального інструменту, який працює на напівчистових і чистових операціях при точінні, розточуванні і фрезеруванні. Випускають у вигляді багатограних непереточуваних пластин з механічним кріпленням і у вигляді напаяних пластин для нероз'ємного з'єднання з корпусом.

Полікристалічні надтверді матеріали

До цієї групи відносяться *алмази* і *кубічний нітрид бору*. Алмаз найтвердіший з всіх відомих матеріалів. Його твердість 100 ГПа. Він має високу зносостійкість, добру теплопровідність, малий коефіцієнт тертя і малу адгезію з металами (за виключенням заліза і його сплавів з вуглецем). Недоліками алмазу, як інструментального матеріалу, є низька теплостійкість (800 °С) і значна крихкість, що вимагає жорсткого і вібростійкого обладнання. Різальні інструменти виготовляють з природних або штучних алмазів (рис. 5). Штучні (синтетичні) алмази одержують з графіту витримкою від мікро- до десятків секунд під тиском 1000 ГПа і температурі 2500 °С. В цих умовах гексагональна решітка графіту перетворюється в кубічну решітку алмазу. Природні і штучні алмази мають однакові параметри кристалічної решітки, близькі фізичні і хімічні властивості, але синтетичні значно дешевші і їх властивості можна регулювати в процесі виготовлення. В техніці близько 90% алмазних інструментів виготовлені на основі синтетичних алмазів.

Промисловість випускає *синтетичні алмази* у вигляді *порошків* (монокристали), *полікристалів* і *композиційних матеріалів*.

Порошки використовуються для виготовлення абразивного інструменту, а для лезового більш придатні полікристали. Це марки: баллас, карбонадо, карболіт. Їх міцність дозволяє витримувати значні безударні навантаження при робочих температурах не вище 650°С.



Рис. 5. Різальний інструмент зі штучних алмазів та КНБ

Полікристали мають ряд переваг. Їх розмір $\varnothing=8\text{мм}$ спрощує кріплення, а міцність на згин в 2-3 рази вище алмазу. Однорідна зерниста будова не має анізотропії властивостей. Використовуються для обробки титанових та висококремнієвих сплавів, композиційних матеріалів, мінералокераміки, забезпечують високу точність. До недоліків слід віднести те, що полікристали мало ефективні при обробці сплавів на основі заліза та надто дорогі.

На основі синтетичних алмазів випускаються *композиційні матеріали* у яких основою служить 2-4мм твердосплавна пластинка, а алмазне покриття товщиною $\approx 1\text{мм}$ дозволяє об'єднати високу твердість і зносостійкість алмазів з міцністю твердого сплаву.

Композити. Основою полікристалічних надтвердих матеріалів, які мають комплекс унікальних фізико-механічних і експлуатаційних властивостей, є ковалентне з'єднання бору з азотом - нітрид бору (BN), який в природі не зустрічається і синтезований в першій половині XIX століття.

Він має кристалічну решітку графіту, високу температуру плавлення ($>2200\text{ }^\circ\text{K}$), не розчиняється ні в одному з відомих розчинників, проводить електричний струм.

Вперше кубічний нітрид бору був синтезований у США в 1957 році, а в СРСР - у 1959 році. Сьогодні відомі три види нітриду бору: BN_г – гексагональний графітоподібний, BN_к – кубічний і BN_в – вюрцитоподібний. На основі останніх двох синтезуються при температурі 1600-2300 °K і тиску 4,0-7,5 ГПа в присутності каталізаторів або без них.

Кубічний нітрид бору (КНБ) відноситься до числа ефективних інструментальних матеріалів і широко використовується для різних видів абразивних і лезових інструментів. Але, як показала практика, КНБ не може конкурувати з алмазом при обробці таких твердих і крихких матеріалів як металокерамічні тверді сплави, скло, граніт, і ряд інших неметалічних матеріалів. В той же час, завдяки теплостійкості і дифузійній стійкості, не проявляючи при обробці металів і сплавів хімічної спорідненості до заліза, КНБ є перспективним

для обробки вказаних матеріалів, в тому числі інструментальних сталей, особливо швидкорізальних нормальної і підвищеної продуктивності.

Починаючи з 90х років спостерігається значне збільшення виробництва КНБ і до кінця ХХ століття об'єм його випуску становив 15 тон в рік. Продаж інструментів на основі КНБ перевищує декілька мільярдів доларів США. На ринку СНД найбільш відомі торгові марки КНБ – це кубаніт, що випускається Науково-технологічним алмазним концерном „Алкон” НАН України (НТАК „Алкон”) і ельбор Абразивного заводу „Ильич” Росія, а в далекому зарубіжжі – боразон „Дженерал Електрик” США.

Кубаніт – це хімічне з'єднання двох елементів – бору(43,6%) і азоту (56,4%). Він має кристалічну ґратку з майже такою ж будовою, як алмаз. За твердістю наближається до алмазу, але має більш високу тепло- і дифузійну стійкість. Мікротвердість знаходиться в межах 80-90 ГПа (алмаз ≈ 100 ГПа), теплостійкість 1200 °С, щільність 3,45 Г/см³ (менша ніж у алмаза). Міцність шліфпорошків з КНБ відповідає міцності шліфпорошків з синтетичних алмазів марок АС2, АС4, АС6, АС15. Порошки кубаніта виготовляють у вигляді мікропорошків марки КМ і шліфпорошків марок КО, КР, КВ.

В останній час до надтвердих матеріалів відносять матеріали, що містять композицію Si-Al-O-N (торгова марка “сіалон”) в основі яких лежить нітрид кремнію Si₃N₄.

Комбінація цієї основи з різними елементами дозволяє створювати матеріали з різними властивостями, наприклад, “*силініт*”, створений Інститутом порошкової металургії АН УРСР, який використовується для напівчистої обробки чавунів в тому числі відбілених і інших матеріалів, що дають стружку надлому.

На основі кубічного нітриду бору випускаються матеріали марок “*ельбор Р*” (K01), який використовується для чистої обробки загартованих сталей і чавунів; *гексаніт* (K10) - для чистої обробки гартованих сталей (HRC 40-68), чавунів, твердих сплавів; композит K05 - напівчистої обробки чавунів і інших матеріалів, які дають стружку надлому.

Цілий ряд такого класу матеріалів випускають фірми Японії, США, Англії, Німеччини у вигляді непереточуваних твердосплавних пластинок з нанесеним на них шаром надтвердого покриття (рис. 6).



Рис. 6. Твердосплавні пластинки з нанесенням на них шару надтвердого покриття

При використанні інструментів з НТМ досягається мінімальна шорсткість деталей машин при токарній обробці і фрезеруванні. Значення шорсткості поверхні при основних способах обробки РІ наведено в [табл. 7](#).

Висока розмірна зносостійкість різців з НТМ і невеликі значення радіальної складової сили різання дозволяють на верстатах високої і особливо високої точності обробляти деталі за 5 і 6 квалітетами.

Абразивні інструменти. Абразивний інструмент – шліфувальний і різальний інструмент, робоча частина якого містить класифіковані частинки абразивного матеріалу – дрібнозернисті речовини високої твердості. Абразивні матеріали поділяються на природні і штучні. До природних матеріалів відносяться наждак, кварцовий пісок, корунд, алмаз. З цих матеріалів найбільше значення зберіг тільки алмаз, оскільки властивості абразивного інструменту з природних матеріалів неоднорідні.

До штучних матеріалів належать електрокорунд, карбіди кремнію і бору, окис хрому, синтетичний алмаз. Абразивні матеріали мають дуже високу твердість. Наприклад, якщо мікротвердість алмазу взяти за 100%, то мікротвердість карбідів бору становитиме 43%, карбідів кремнію 30%, електрокорунду 20%, а загартованої сталі всього 10% від мікротвердості алмазу. Поряд з високою твердістю абразивні матеріали стійкі проти спрацювання, а теплостійкість їх становить 1800 – 2000 °С. Ці властивості абразивних матеріалів дають можливість вести обробку при швидкостях різання до 70 м/с. Абразивні інструменти застосовують під час обробки різних деталей машин механізмів і приладів, забезпечуючи точність обробки до 1-4 мкм і параметрами шорсткості поверхні Ra 0,2-0,08 мкм. Абразивну обробку широко використовують в інструментальному виробництві, де всі операції здійснюють за допомогою абразивних інструментів.

До абразивних інструментів відносять шліфувальні круги, головки, сегменти, бруски на гнучкій основі, еластичні круги, шкурки, стрічки, пасти ([рис. 7](#)). З цих наведених абразивних інструментів найпоширеніші — шліфувальні круги, це тіла обертання, які мають різні розміри і профілі в осьовому перерізі.

Шліфувальні круги – розповсюджена група абразивних інструментів. Їх застосовують при роботі на шліфувальних і заточувальних верстатах. Шліфувальний круг складається із зерен, що шліфують, з'єднаних між собою зв'язкою. Зерна й зв'язка не заповнюють увесь об'єм шліфувального круга, частина його залишається вільним у вигляді пор (порожнеч).

У процесі шліфування кожне зерно, що виступає на поверхні круга, своїми гострими ребрами зрізує стружку, що розміщується в порах, а потім викидається з них силою інерції.

Шліфувальний круг – характеризується формою й розмірами, маркою абразивного матеріалу, зернистістю, матеріалом зв'язування, твердістю й структурою.



Рис. 7. Асортимент сучасних промислових абразивних матеріалів

Форми й розміри кругів стандартизовані. Кожна форма круга має умовне позначення. Наприклад: ПП – плоскі прямі круги, Д – диски, ЧЦ – чашки циліндричні, ЧК – чашки конічні, Т – тарілки і т.д.

Абразивні матеріали. Шліфувальні круги виготовляють переважно з електрокорунду, карборунду, синтетичних алмазів і кубічного нітриду бора.

Електрокорунд являє собою, в основному, кристалічний окис алюмінію, який виплавляють з бокситу чи глинозему. Промисловість випускає:

- електрокорунд нормальний – Е (91-96% Al_2O_3), марки 16А – 12А;
- електрокорунд білий – ЕБ (97- 99 % Al_2O_3), марки 25А – 22А;
- монокорунд – М (97 - 98% Al_2O_3), марки 45А – 43А.

Електрокорундовими кругами шліфують в'язкі матеріали.

Карбід кремнію дістають методом плавлення кварцевого піску з коксом. Зерна карбіду кремнію мають високу твердість, при дробленні яких утворюються гострі різальні кромки. За твердістю і абразивною здатністю карбід кремнію перевищує електрокорунд, але він більш крихкий. Залежно від процентного вмісту карбіду кремнію, розрізняють:

- карборунд чорний – КЧ (95% Si C), марки від 55С до 52С;
- карборунд зелений – КЗ (97% Si C), марки від 64С до 62С.

Зелений карбід кремнію має порівняно з чорним карбідом кремнію більшу твердість, але й меншу в'язкість і міцність. Круги з зеленого карбіду кремнію використовують переважно для заточування твердосплавного і мінералокерамічного різального інструменту. Круги з чорного карбіду кремнію застосовують для обробки матеріалів з низьким опором на розрив.

Алмазні круги з металевим або полімерним корпусом, на якому укріплено алмазоносний шар завтовшки 0.5–3 мм. Такі круги випускають з 25%, 50%, 100%, 150% – концентрацією алмазного порошку. Стопроцентною концентрацією вважають вміст – 0.878 мг/мм^3 алмазоносного шару.

Карбід бору має твердість, яка наближається до твердості алмазу, і високу абразивну здатність. Проте висока крихкість стає на заваді отримання працездатних крупних зерен карбіду бору. Тому промисловість випускає карбід бору тільки у вигляді дуже дрібних зерен, які застосовуються в якості порошку або пасти для остаточної обробки дуже твердих матеріалів.

Абразивні порошки (окис хрому, віденське вапно, трепел) використовують для виготовлення шліфувальних і полірувальних паст.

Зернистість – це номер абразивних зерен круга, що характеризує їхній розмір.

За зернистістю абразивні матеріали поділяють на три групи:

- шліфувальні зерна (зернистість від N 200 до N 16);
- шліфувальні порошки (від N 12 до N 3);
- мікропорошки (від M 40 до M 5).

Параметр шорсткості R_a , мкм, орієнтовно пов'язаний з середнім розміром абразивних зерен d_a , мкм та виражається залежністю $R_a = C_a d_a^{0,5}$, де $C_a = 1,5 \dots 1,8$ — стала, яка залежить від властивостей матеріалу заготовки та абразивного круга.

Вміст основної фракції зерен позначається В, П, Н и т.п.

Зв'язка – матеріал, що скріплює окремі абразивні зерна круга. Найпоширеніші зв'язки:

- керамічна – К (вогнетривка глина, польовий шпат, кварц, крейда, рідке скло), марки від К0 до К8;
- вулканітова – В (70% каучуку й 30% сірки), марки В, В1, В2, В3;
- бакелітова – Б (штучна смола), марки Б, Б1, Б2, Б3, Б4.

Твердість шліфувального круга – це опір зв'язки вириванню абразивних зерен зовнішніми силами. Чим міцніше тримаються зерна, тим твердіший інструмент. Ступені твердості абразивного круга.

1. М'які М1, М2, М3.
2. Средньомякі СМ1, СМ2.
3. Середні С1, С2.
4. Средньотверді СТ1, СТ2, СТ3.
5. Тверді Т1, Т2.
6. Досить тверді ВТ1, ВТ2.
7. Надзвичайно тверді ЧТ1, ЧТ2.

При виборі шліфувального круга необхідно враховувати, що чим твердіший оброблюваний матеріал, тим швидше притупляються абразивні зерна, а, отже, тим м'якше повинен бути шліфувальний круг.

Структура – співвідношення у відсотках в одиниці об'єму зерен, зв'язки і пор. Існує 13 номерів структур:

- 1) щільні- № 0 - № 3;
- 2) середньощільні - № 4 - № 6;
- 3) відкриті - № 7 - № 12.

Приклад маркування абразивного шліфувального круга за ГОСТ 52781-2007 (ИСО 525:1999).

ПП500x50x305 24А 10-П С2 7К5 35 м/с 1 клА.

Це плоский прями́й круг (ПП) із зовнішнім діаметром 500 мм. шириною 50 мм і діаметром отвору в кругу 305 мм. Виготовлений з електрокорунду білого марки 24А, зернистістю 10-П (П-вміст основної фракції зерен), ступінь твердості - С2, номер структури - 7, керамічна зв'язка марки К5, робоча швидкість 35 м/с. 1 класу невривноваженості (дисбалансу), клас точності А.

Програма підготовки:

1. Вивчити і записати основні вимоги, що ставляться до робочої частини різальних інструментів.
2. Скласти класифікацію інструментальних матеріалів, коротко вказавши:
 - а) основні властивості,
 - б) хімічний склад,
 - в) область застосування.

Порядок виконання роботи:

1. Практично ознайомитись на інструментах і зразках з інструментальними матеріалами, їх маркуванням. Записати тип інструменту, марку інструментального матеріалу та межі застосування.
2. Побудувати гістограму температуростійкості інструментальних матеріалів.
3. Розшифрувати задані марки інструментальних матеріалів (таб. 9), розкрити їх хімічний склад та властивості (згідно довідникових даних).
4. Підібрати ріжучий інструмент для обробки заданого матеріалу (таб. 10) згідно довідникових даних.

Таблиця 9

№ варіанту	Марки матеріалів
1	У7, 9ХВГ, М6Ф1, Р18, ВК3, Т30К4, ТТ7К12, ТН-20, ЦМ-332, ельбор, АС, А
2	У9А, Х12М, М6Ф3, Р6М5, ВК6, Т15К6, ТТ8К6, ТН-30, ВШ-75, ісміт, АС, А
3	У12, 5Х2МНФ, М5Ф1С, Р6М5Ф3, ВК8, Т14К8, ТТ10К8Б, ТН-40, ЦН-30, боразон, АС, А
4	У8ГА, 4Х3ВМФ, М5Ф1С4, Р18К5Ф2, ВК10, Т5К10, ТТ20К9, КТН-16, ВШ-75, кубоніт, АС, А
5	У9, ХВСГФ, М6Ф1С2, Р9К5, ВК15, Т5К12, ТТ8К7, ТН-25, ВОК-60, гексаніт-Р, АС, А
6	У7А, 4Х5В2ФС, М6Ф1С, Р12, ВК20, Т30К4, ТТ7К12, ТН-20, В-3, ельбор-Р, АС, А
7	У10, 9Х5В2Ф, М6Ф1, Р6М5, ВК3-М, Т15К6, Т8К6, ТН-30, ЦМ-332, ісміт, АС, А
8	У12А, 8Х6НФТ, М6Ф3, Р2АМ9К5, ВК6-М, Т14К8, ТТ10К8Б, ТН-40, ВОК-60, боразон, АС, А
9	У7, 9Г2Ф, М5Ф1С, Р6М5, ВК6-ОМ, Т5К10, ТТ20К9, КТН-16, ЦН-30, кубоніт, АС, А

10	У9А, Х6ВФ, М5Ф1С4, Р6М5Ф3, ВК6-В, Т5К12, ТТ8К7, ТН-25, ВШ-75, гексаніт-Р, АС, А
11	У8, 9ХС, М6Ф1С2, 11Р3АМ3Ф2, ВК8-В, Т30К4, ТТ7К12, ТН-20, ВОК-60, ельбор-Р, АС, А
12	У10А, 6Х4М2ФС, М6Ф1С, Р12, ВК8-ОМ, Т15К6, ТТ8К6, ТН-30, ВО-13, исмит, АС, А
13	У13, Х12Ф1, М6Ф1, Р6М5К5, ВК10-ХОМ, Т14К8, ТТ10К8, ТН-40, кортініт, боразон, АС, А
14	У7А, 6ХВГ, М6Ф3, Р2АМ9К5, ВК4-В, Т5К10, ТТ20К9, КТН-16, силініт-Р, кубоніт, АС, А
15	У13, Х12МФ, М6Ф1, Р9К5, ВК3-М, Т5К12, ТТ8К7, ТН-25, В-3, гексаніт-Р, АСБ, А
16	У8А, Х12ВМ, М5Ф1С4, Р12Ф3, ВК10-М, Т30К4, ТТ7К12, ТН-20, ЦМ-332, ельбор-Р, АС, А
17	У11, 9ХФ, М6Ф1, Р9К5, ВК11-В, Т15К6, ТТ8К6, ТН-30, ВШ-75, ісміт, АС, А
18	У13А, 9ХФМ, М6Ф1С2, Р6М5К5, ВК20-КС, Т14К8, ТТ10К8Б, ТН-40, ЦН-30, боразон, АС, А
19	У8, 11ХФ, М6Ф1С, Р2АМ9К5, ВК3, Т5К10, ТТ20К9, КТН-16, ВШ-75, кубоніт, АС, А
20	У10А, 3Х2МНФ, М6Ф3, Р6М5, ВК6, Т5К12, ТТ8К7, ТН-25, ВОК-60, гексаніт-Р, АС, А

Таблиця 10.

№ п/п	Вид обробки	Характеристика обробки	Марка матеріалу заготовки	Марка інструментального матеріалу
1	Нарізання різьби	чорнова	Сталь 20Х, $\sigma_b=580$ МПа	
2	Розточування	чорнова без ударних навантажень	Сірий чавун, 170 НВ	
3	Обточування	чорнове після автогенної різки	Сталь Ст5, $\sigma_b=600$ МПа	
4	Підрізання торця	чистова	Сірий чавун, 200 НВ	
5	Фрезерування	чорнове	Ковкий чавун, 150 НВ	
6	Обробка фасонним різцем	чистова	Сталь 45, $\sigma_b=700$ МПа	
7	Розвертування	чорнове	Бронза БР АЖ9-4, 120 НВ	
8	Обточування	чистове з малим перерізом зрізу	Сталь 45ХН, $\sigma_b=750$ МПа	
9	Прорізка пазу	чистова	Сталь корозостійка, 40Х13, 200 НВ	
10	Свердління отвору, $l=10$ мм	чистове	Латунь ЛК80-3, 110 НВ	

Контрольні питання

1. Які вимоги ставляться до інструментальних матеріалів?
2. Які властивості інструментальних матеріалів першочергові при виборі інструменту, чому?
3. Дайте порівняльну характеристику інструментальних сталей.
4. Як впливають легуючі елементи на властивості інструментальних сталей?
5. Тверді сплави, їх характеристика, межі застосування.
6. Переваги і недоліки мінералокераміки як інструментального матеріалу.
7. Хімічний склад і способи виробництва мінералокерамічних матеріалів.
8. Застосування алмазу як інструментального матеріалу, його переваги і недоліки.
9. Кубічний нітрид бору: властивості, межі застосування, переваги.
10. Класифікація абразивних матеріалів, їх характеристика.
11. Що входить до маркування абразивних інструментів.

Лабораторна робота № 2

Тема: КОНСТРУКЦІЯ І ГЕОМЕТРІЯ ТОКАРНИХ РІЗЦІВ

Мета роботи: вивчити елементи і кути різця в статиці.

Обладнання та інструменти: універсальний кутомір, комплект навчальних різців, штангенциркуль, плакати, моделі.

Зміст звіту:

1. Назва і мета лабораторної роботи.
2. Підготовка до виконання лабораторної роботи.
3. Результати виконання завдань – ескіз різця.
4. Висновки.

Теоретичні відомості

Елементи та поверхні токарного різця

Найбільш розповсюдженим видом обробки різанням є точіння. Точінням отримують деталі із циліндричними, конічними, фасонними і торцевими поверхнями, які утворюються в результаті обертів заготовки і переміщення різця. **Різцем** називається ріжучий інструмент з однією головною різальною кромкою, застосований для обробки зовнішніх і внутрішніх поверхонь тіл обертання різної форми.

Конструктивно різець складається з двох основних частин: тіла (стержень) різця, що служить для закріплення різця в різцетримачі верстату, та головки

(ріжуча частина) різця що є робочою частиною різця і утворюється при його заточуванні. На голівці різця (рис.1) розрізняють наступні елементи:

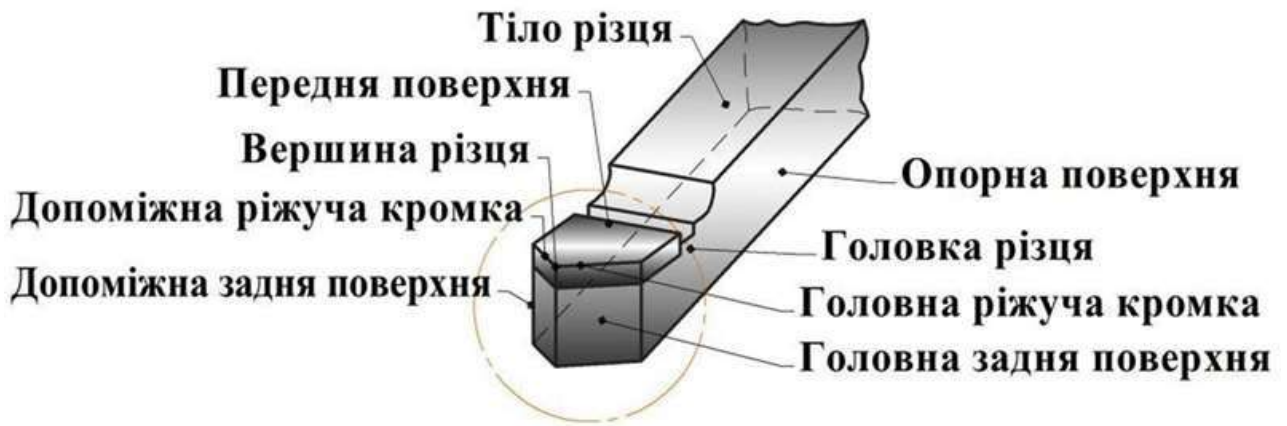


Рис. 1. Елементи головки різця

1. *Передня поверхня* – це поверхня, по якій сходить стружка в процесі різання.
2. *Головна задня поверхня* – це поверхня, звернена до поверхні різання.
3. *Допоміжна задня поверхня* – це поверхня, звернена до обробленої поверхні.
4. *Головна ріжуча кромка* – це лінія, утворена перетином передньої поверхні і головної задньої поверхні.
5. *Допоміжна ріжуча кромка* – це лінія, утворена перетином передньої поверхні і допоміжної задньої поверхні.

Головна ріжуча кромка формує більшу сторону перетину зрізуваного шару, а допоміжна меншу сторону (рис. 2).

6. *Вершина різця* – це місце сполучення головної і допоміжної різальних крайок. Вершина різця може бути гострою, заокругленою (величина $r=0,5...2\text{мм}$) або зрізаною (рис. 3).

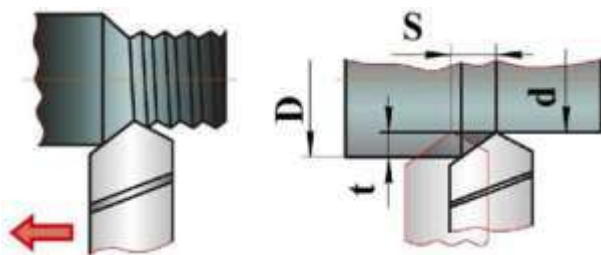


Рис. 2. Робота головної та допоміжної ріжучих крайок різця

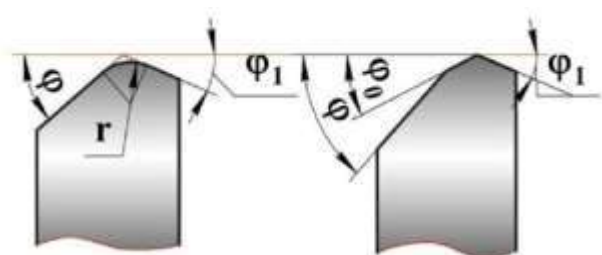


Рис. 3. Форма спряжень головної та допоміжної ріжучих крайок різця

На виробництві всі різці класифікують в залежності від:

- I. **виду верстатів** (рис. 4): токарні, стругальні, довбальні, автоматно-револьверні, розточувальні для горизонтально-розточувальних верстатів, спеціальні;

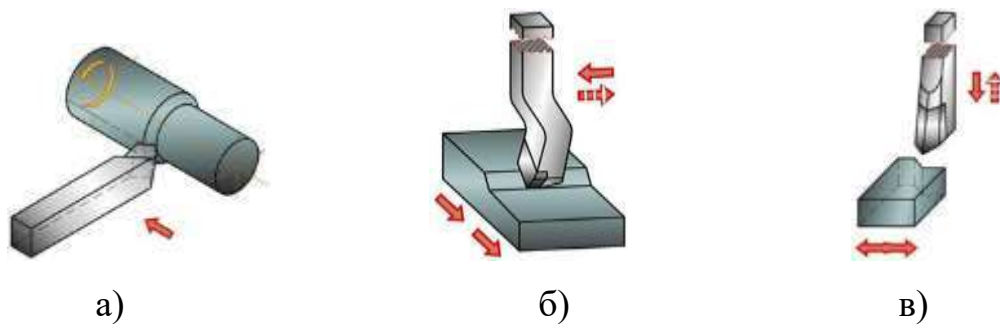


Рис. 4. Класифікація різців по виду верстата

II. виду обробки (рис. 5): прохідні, підрізні, відрізні, прорізні, розточувальні, галтельні, різьбові, фасонні;

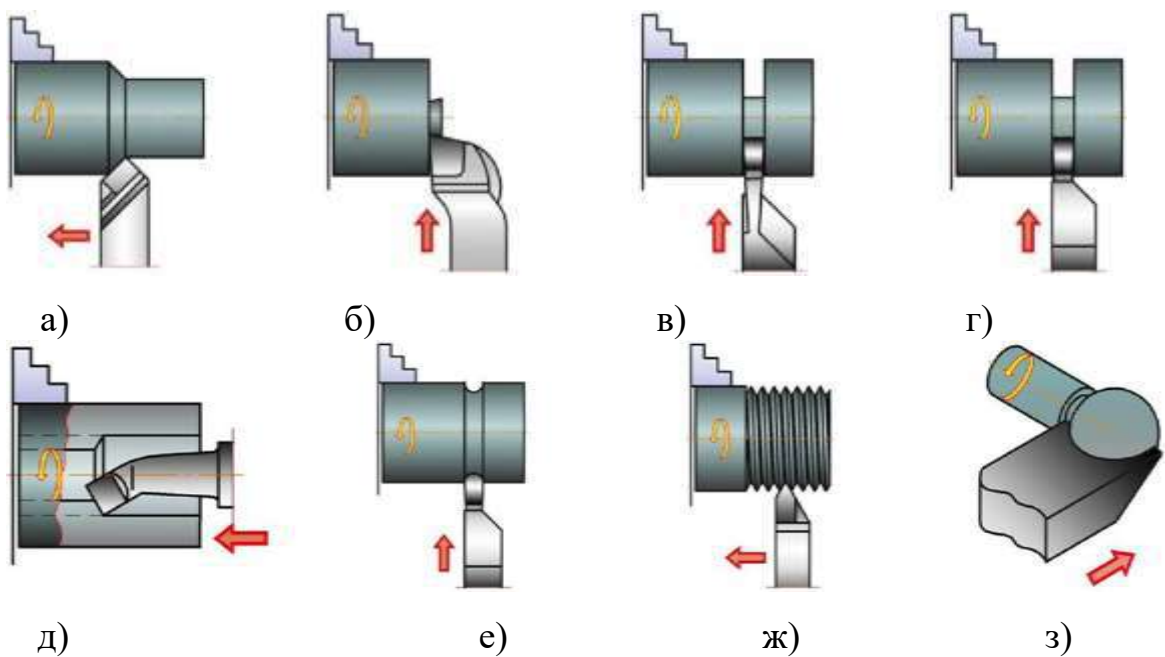


Рис. 5. Класифікація різців по виду обробки

III. характеру обробки: обдирні (чорнові), чистові, для тонкого точіння;

IV. перетину кріпильної частини: прямокутні, квадратні, круглі;

V. конструкції робочої частини: прямі, відігнуті, вигнуті, з відтягнутою головкою (рис. 6);

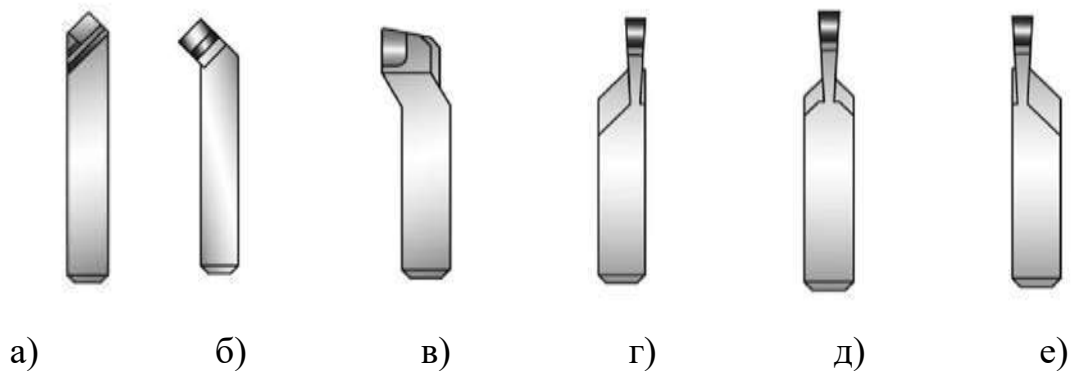
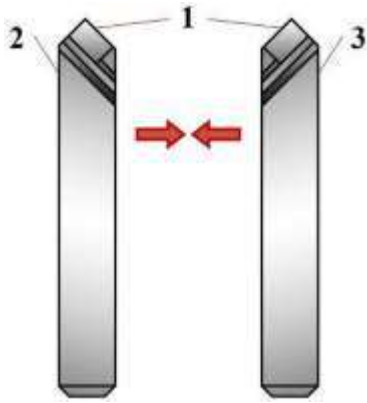


Рис. 6. Класифікація різців по конструкції робочої частини

VI. напрямку подачі: праві, ліві (рис. 7);



*Рис. 7. Визначення різців по напрямку подачі:
1 – головна ріжуча кромка; 2 – лівий різець;
3 – правий різець*

VII. способу виготовлення: з робочою частиною, виконаною як одне ціле із кріпильною; з робочою частиною, привареною встик; з наплавленою, напаяною, наклеєною пластинкою, з механічним кріпленням пластинок або вставок;

VIII. роду інструментального матеріалу: з надтвердих матеріалів, із пластинками із твердого сплаву, мінералокерамічними пластинками, зі швидкорізальною, легованою, вуглецевою сталі.

Форма ріжучої частини різця визначається конфігурацією і розташуванням у просторі його поверхонь і кромки, тобто за допомогою кутів, що називаються геометричними параметрами або просто геометрією різця.

Кути різця

Для визначення та вимірювання кутів різця в статиці приймають такі вихідні площини (рис. 8):

1. *Основна площина (ОП)* - це площина, паралельна одночасно напрямку поздовжньої і поперечної подачі різця. У різців з призматичним стрижнем за основну площину можна приймати нижню опорну поверхню різця.

2. *Головна площина різання (ГПР)* - це площина, дотична до поверхні різання і проходить через головну ріжучу кромку.

3. *Допоміжна площина різання (ДПР)* - це площина, що проходить через допоміжну ріжучу кромку і перпендикулярно до основної площини.

4. *Головна січна площина (ГСП)* - це площина, перпендикулярна до проекції головної ріжучої крайки на основну площину.

5. *Допоміжна січна площина (ДСП)* - це площина, перпендикулярна до проекції допоміжної різальної крайки на основну площину.

Головний передній кут (γ) – це кут між передньою поверхнею різця і площиною, що проходить через головну ріжучу кромку перпендикулярною до головної площини різання. Величина переднього кута впливає на процес стружкоутворення. Значення цього кута можуть бути позитивні, дорівнювати нулю або негативні. Зазвичай $\gamma = +20^\circ \div -100^\circ$.

Кут загострення (β) – це кут між передньою поверхнею різця і головною задньою поверхнею різця. Величина цього кута впливає на міцність ріжучої частини інструменту і на відвід тепла від ріжучої частини різця. Чим більше цей кут, тим міцніше ріжуча частина інструмента і тим краще відведення тепла від ріжучої кромки.

$$\beta = 90^\circ - (\alpha + \gamma) \quad (1)$$

Кут різання (δ) – це кут між головною площиною різання і передньою поверхнею різця:

$$\delta = 90^\circ - \gamma \quad (2)$$

$$\delta = \alpha + \beta \quad (3)$$

Допоміжні кути різця вимірюють в допоміжній січній площини. До них відносяться *допоміжний задній кут (α_1)* і *допоміжний передній кут (γ_1)*.

Кути в плані вимірюються в основній площині:

Головний кут у плані (φ) – це кут між проекцією головної ріжучої кромки на основну площину і напрямом робочої подачі.

Допоміжний кут в плані (φ_1) – це кут між проекцією допоміжної ріжучої кромки на основну площину і напрямом робочої подачі.

Кут при вершині (ε) – це кут між проекціями головної і допоміжної ріжучих крайок на основну площину:

$$\varepsilon = 180^\circ - (\varphi + \varphi_1) \quad (4)$$

Кут нахилу головної ріжучої кромки (λ) - це кут між ріжучою кромкою і площиною, паралельною основній площині та проведеної через вершину різця. Значення цього кута може бути додатнім, рівним нулю або від'ємним. Кут вважається позитивним, якщо вершина різця є найнижчою точкою головної ріжучої кромки. Основне призначення кута нахилу головної різальної кромки (λ) полягає в тому, щоб повідомити стружці бажаний напрям сходу з передньої поверхні різця. Крім того, цей кут впливає на міцність вершини різця (рис. 10).

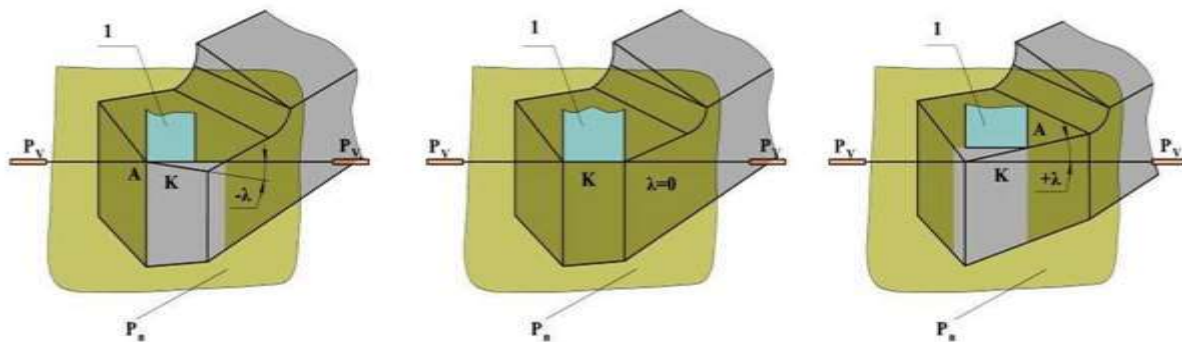


Рис.10. Кут нахилу головної ріжучої кромки

При позитивному куті λ вершина різця зміцнюється, поліпшується відвід тепла і стружка сходить у бік обробленої поверхні. Ці значення кута застосовуються при різанні зі значними глибинами - для чорнової обробки.

При негативному куті λ послаблюється вершина різця, погіршується відвід тепла, але полегшується схід стружки, яка відводиться в сторону оброблюваної поверхні. Ці значення кута застосовують для чистової обробки, при різанні з невеликими глибинами.

Якщо кут нахилу головної різальної кромки дорівнює нулю, то стружка сходить перпендикулярно до головної різальної кромки.

Кути α і γ будуть змінюватись в процесі різання і під час встановлення ріжучої кромки різця вище або нижче осі обертання заготовки (рис. 11).

Якщо ріжуча кромка різця вище лінії центрів верстата, положення площини різання змінюється, і при зовнішньому точінні передній кут γ збільшується, а задній кут α зменшується. Якщо ріжуча кромка різця нижче лінії центрів, то передній кут γ зменшується, а задній кут α збільшується.

Під час розточування, якщо ріжуча кромка вище лінії центрів, передній кут γ – зменшується, а задній кут α – збільшується. Якщо ріжуча кромка різця нижче лінії центрів, передній кут γ – збільшується, а задній кут α – зменшується.

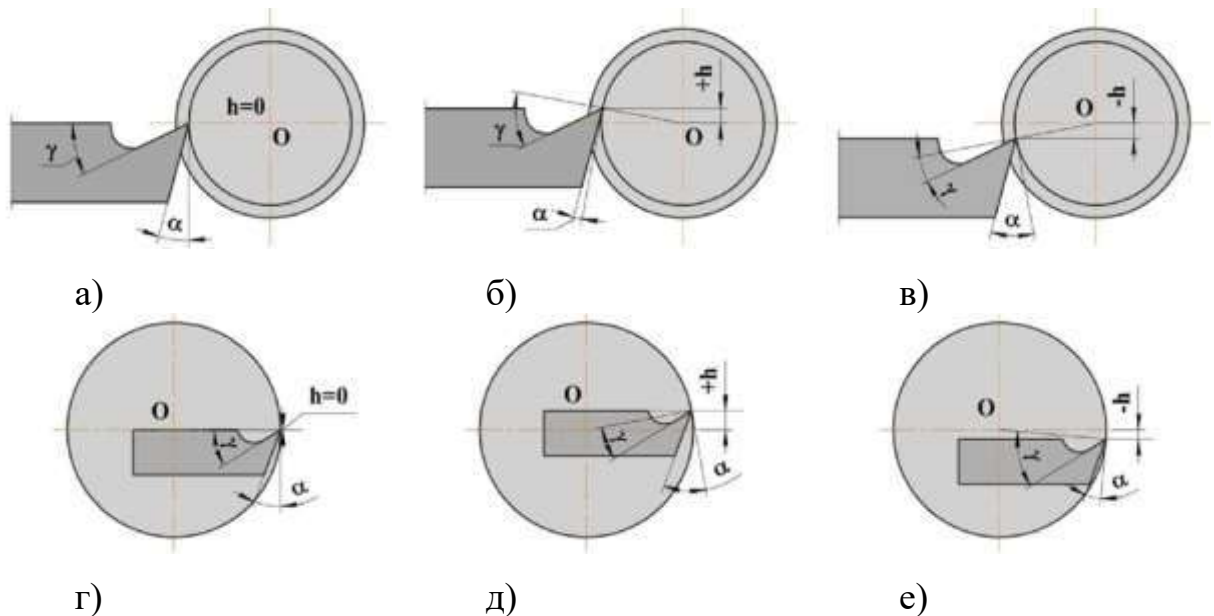


Рис. 11. Геометричні параметри різця в залежності від положення його вершини відносно осі центрів при: а, б, в зовнішнє точіння; г, д, е розточуванні

При вимірюванні кутів площина різання вважається вертикальною, це може бути тільки при відсутності подачі, при установці вершини різця на рівні лінії центрів заготовки і при значенні кута нахилу ріжучої кромки $\lambda=0^\circ$ (коли всі точки ріжучої кромки лежать на лінії центрів). При обертанні заготовки точки ріжучої кромки описували б траєкторію у вигляді кола, і поверхня різання представляла б собою усічений конус. Якщо різець одержує подачу, то поверхня різання це гвинтова поверхня із кроком, що дорівнює подачі, і дотична до неї площина різання буде розташована під кутом нахилу гвинтової поверхні. Кінематичний кут при цьому стає менше статичного.

На рис. 12а спрощено представлена робота при поздовжньому точінні з кутом $\varphi=90^\circ$ і $\gamma=0^\circ$, ріжуча кромка різця встановлена на рівні осі заготовки: В-В положення площини різання при обертанні заготовки і відсутності подачі (точки ріжучої кромки описують кола, і дотична до них займає вертикальне положення); А-А положення площини різання, дотичної до гвинтової поверхні різання, при роботі із включеною подачею; α_k кінематичний задній кут; η кут робочої площини між напрямками швидкостей результуючого руху різання і головного руху.

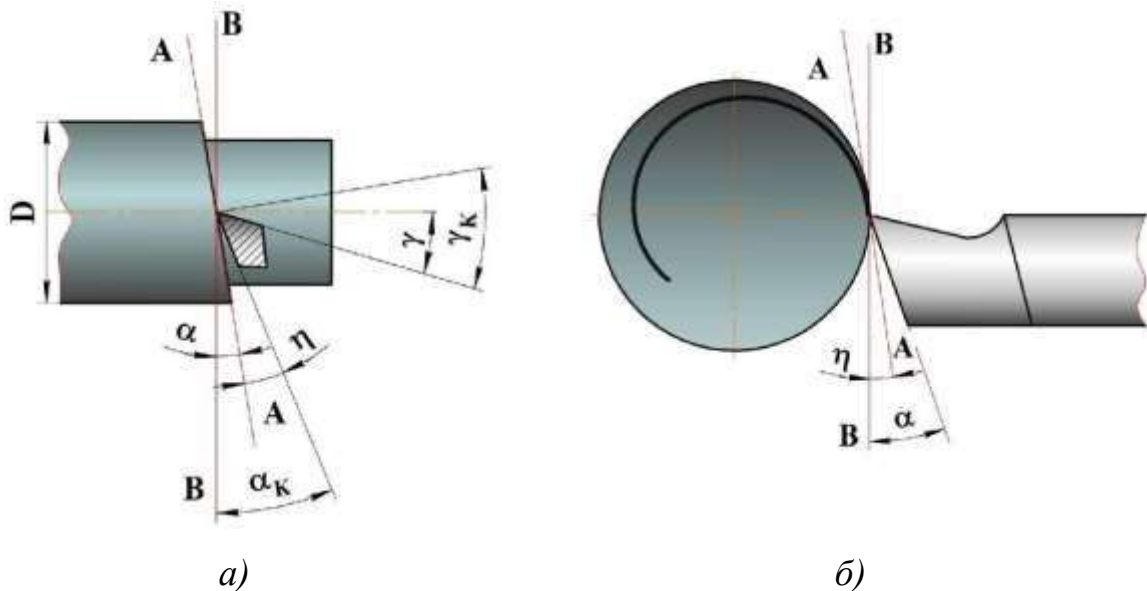


Рис. 12. Зміна кутів різця у процесі роботи: а - поздовжнє точіння;
б - поперечне точіння

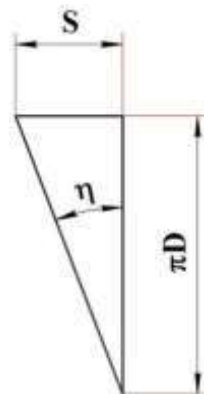
Поверхня різання в дійсності буде ближче до задньої поверхні різця. У результаті зміни положення площини різання задній кут зменшується та буде мати величину

$$\alpha_k = \alpha - \eta$$

де η – кут нахилу гвинтової траєкторії точки ріжучої кромки; α_k – кінематичний задній кут (кутовий зазор між поверхнею різання і задньою поверхнею різця); α – статичний задній кут при відсутності подачі, коли площина різання займає вертикальне положення.

Якщо розгорнути на площину коло обертання і гвинтову траєкторію точки ріжучої кромки, то одержимо трикутник, у якому катетами будуть подача та коло обертання, а гіпотенузою гвинтова траєкторія. Звідси можна визначити кут η .

$$\eta = \arctg \frac{S}{\pi D}$$



Зі збільшенням подачі збільшується нахил гвинтової траєкторії точки ріжучої кромки (ці траєкторії утворює поверхня різання), а кінематичний задній кут зменшується. Різні точки ріжучої кромки перебувають на різних діаметрах заготовки, а отже, нахил їх гвинтових траєкторій буде різним. Чим менше

діаметр заготовки, тим значніше зменшується задній кут у процесі роботи, тому що нахил гвинтової траєкторії більше.

Якщо різець має кут у плані $\varphi=90^\circ$, то напрямок подачі і січної площини, у якій вимірюється кут α , збігається. Якщо кут $\varphi \neq 90^\circ$, то кут між положеннями площини різання, вимірюваний у головній січній площині, η_ϕ можна визначити за формулою

$$\eta_\phi = \tan \eta \cdot \sin \varphi$$

При цьому кінематичний задній кут у головній січній площині буде рівний:

$$\alpha_k = \alpha - \eta$$

При поперечному точінні, при відрізанні деталі, точки ріжучої кромки описують Архімедову спіраль, отже, дотична до поверхні різання і площина різання також будуть відхилитися від дотичної до кола обертання, і кінематичний задній кут різця буде менше.

При звичайно вживаних подачах точінні кут η незначний, і зміною заднього кута в процесі роботи можна знехтувати. У процесі роботи більшими подачами, при затилувальних роботах, нарізанні різі, обробці ходових гвинтів необхідно враховувати зміну заднього кута різця і збільшувати величину його заточування на кут η_ϕ .

Передній кут різця γ у цьому випадку збільшується на величину η_ϕ , тому що змінює своє положення основна площина; кут загострення різця β зберігає свою величину. Таким чином, під час роботи різець у головній січній площині буде мати кінематичний передній кут, рівний

$$\gamma_k = \gamma + \eta_\phi$$

Для забезпечення в процесі роботи оптимальної величини заднього кута, його заточують більшим на величину зменшення. Це зменшує кут загострення β , що погіршує відведення тепла і зменшує міцність різця. Щоб зберегти, оптимальні умови роботи інструмента, можна заточити передній кут зменшеним на таку ж величину.

Схеми кутів відрізного і розточувального різців у статиці зображені на малюнках (рис. 13, 14).

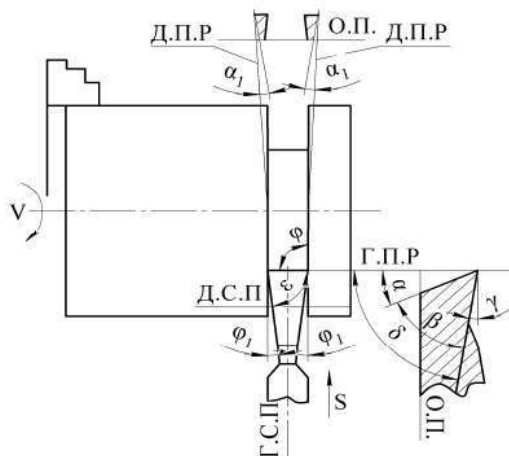


Рис. 13. Геометричні параметри токарного відрізного різця

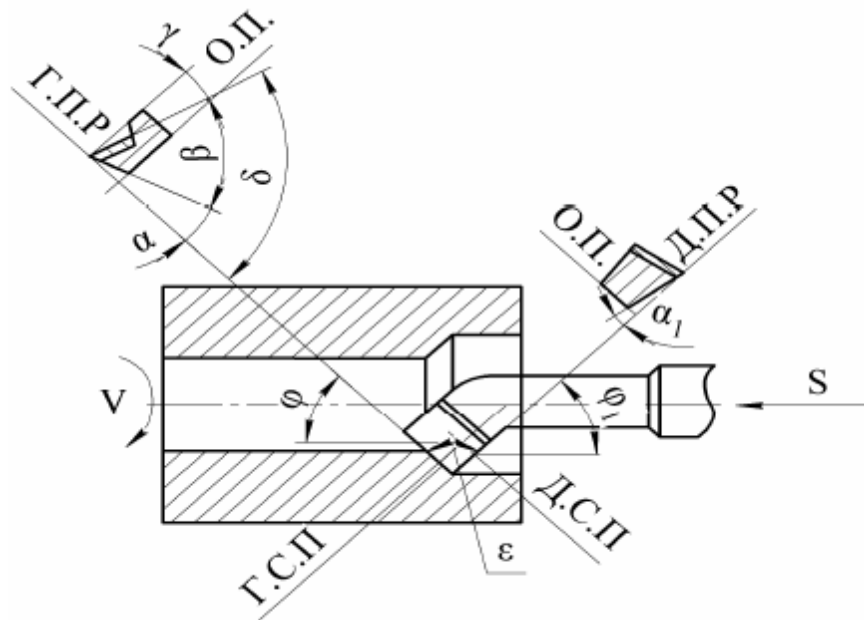


Рис. 14. Геометричні параметри токарного розточувального різця

Форми робочих поверхонь різців

Залежно від умов процесу різання обирають різні форми передньої і задньої поверхонь різців. Найбільш розповсюдженими формами передньої поверхні є:

1. *Плоска з додатнім переднім кутом* (рис. 15 а) – використовується в різцях для обробки сірого чавуну і кольорових металів; з *від'ємним переднім кутом* (рис. 15, б) – для обробки чавуну з міцністю $HB\ 230$ і сплавів $\sigma_s=800\text{ Па/м}^2$, $HRC=50\dots64$ при перервному точінні.

2. *Плоска з подвійною передньою поверхнею*: на різці виконується фаска з від'ємним переднім кутом $\gamma_\phi=-5^\circ\dots-10^\circ$ шириною, більшою товщини зрізу $f \geq a$, решта поверхні має передній кут $\gamma=10^\circ\dots30^\circ$ (рис. 15, в). такі різці використовуються для обробки сталей і сплавів з $\sigma_s=785\text{ Па/м}^2$. Із збільшенням міцності матеріалу, який обробляється, рекомендується збільшити ширину фаски до 3 мм, а кут γ_ϕ зменшити до -5° .

3. *Криволінійна з фаскою* (рис. 15, г) – для інструментів із інструментальних сталей при обробці м'яких матеріалів $\sigma_s=700\text{ Па/м}^2$ з малими товщинами зрізу $a \leq 0,2\text{ мм}$; для обробки сталей з підвищеною міцністю з $\sigma_s=700\dots900\text{ Па/м}^2$ з товщиною шару що зрізається $a > 0,2\text{ мм}$ на передній поверхні виконується фаска.

4. *Випукла зручнообтікаюча* форма передньої поверхні рекомендується для різців, що працюють з великими товщинами зрізу $a = 2\dots8\text{ мм}$. Використання такої поверхні підвищує міцність ріжучої кромки, зменшує сили різання, загальне тепловідведення, покращує теплопровід в різець (рис. 15, д).

5. *Скорочена* поверхня з довжиною, меншою за довжину контакту стружки з різцем (рис. 15, е).

Задня поверхня інструментів виготовляється:

- у вигляді площини (рис. 15, а);
- плоскою з подвійною поверхнею (рис. 15, ж);

- плоскою з фаскою $f = 0,07 \dots 0,1$ мм, $\gamma = 0^\circ$, яка зміцнює ріжучу кромку, знімає інтенсивність радіального зносу і рід шорсткості поверхні, що обробляється (рис. 15, е);
- плоскою з фаскою $f = 0,1 \dots 0,3$ мм під кутом $\alpha_\phi = -5^\circ \dots -45^\circ$, що сприяє гашенню вібрацій (рис. 15, и);
- скороченою з кутом $\alpha_\phi = 0^\circ$ і $f = 0,4 \dots 0,7$ мм (рис. 15, к).

Вимірювальні прилади і методика вимірювання кутів

Переріз різця і довжина головки різців вимірюється за допомогою штангенциркуля і лінійки з точністю ± 1 мм.

Кути різців вимірювати за допомогою кутомірів: транспортного типу, настільного МИЗ, настільного ЛМТ, маятникового, кутомірів УН, УМ і ін., а також за допомогою шаблонів.

Кути різців α , γ , β , δ , λ вимірювати з точністю $\pm 1^\circ$; ϕ , ϵ , ϕ_1 з точністю $\pm 2^\circ$; α_1 і ϕ_1 у відрізних різців з точністю $\pm 30'$.

Розглянемо конструкції та принцип роботи цих кутомірів.

Настільний кутомір КРИН складається з основи 8 з вертикальною стійкою 4 (рис. 16), по шпонковому пазові якої переміщується вимірювальна головка 5 зі шкалою 3 і вимірювальною лінійкою з покажчиком 2. За допомогою гвинта 6 вимірювальна головка закріплюється на будь-якій висоті над столом 1, який може повертатися на стійці 4. Необхідне положення стола фіксується гвинтом 7.

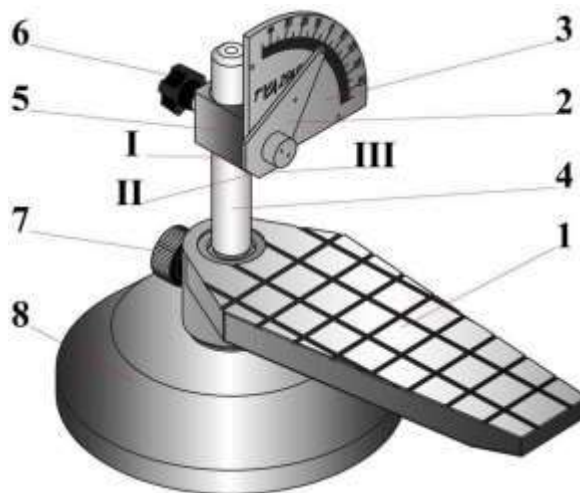


Рис. 16. Конструкція кутоміра КРИН

Вимірювальна лінійка має три ребра: I, II і III. При контролі кутів інструмента вони сполучаються без просвіту (або з мінімальним рівномірним просвітом) з відповідною площиною інструмента. При положенні штриха покажчика напроти нульового штриха шкали ребро III паралельно робочій площині стола 1, а ребро I перпендикулярно до неї. Тому ребро III лінійки 2 використовується для вимірювання кутів між площиною інструмента і площиною стола, а ребро I між площиною інструмента і площиною, перпендикулярної площині стола. Ребро II вимірювальної лінійки розташовано

під кутом 45° до ребер I і II і призначене, головним чином, для вимірювання кутів, значення яких більше 45° , наприклад, кутів різця в плані.

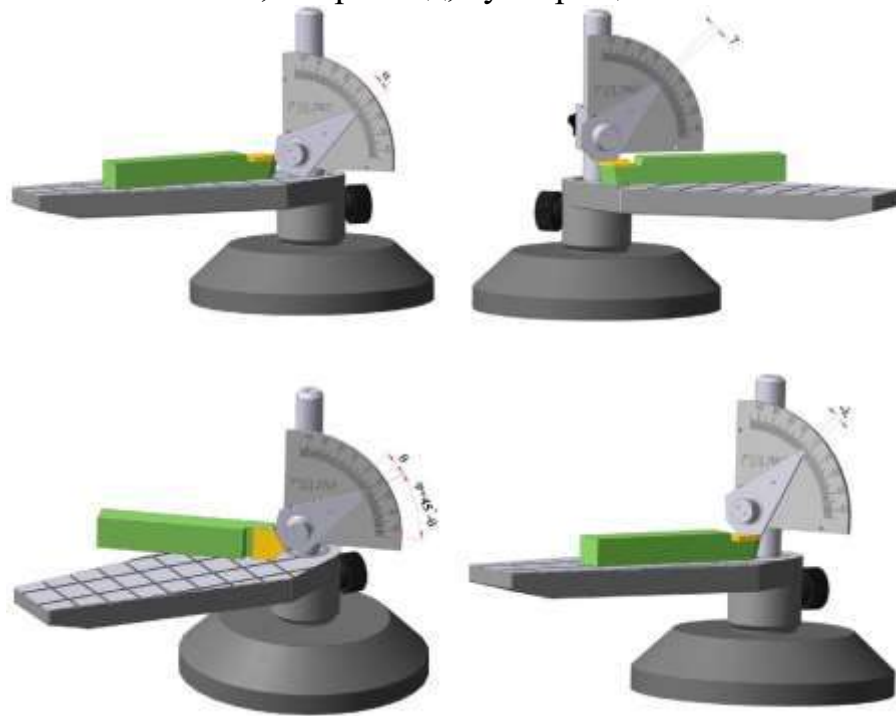


Рис. 17 Вимірювання кутів різця на кутомірі КРИН

При роботі на приладі площиною вимірювання є площина вимірювальної лінійки, площина шкали. Стіл 1 повертається в зручне для роботи положення і закріплюється гвинтом 7. Опускаючи вимірювальну головку та повертаючи вимірювальну лінійку, сполучають одне з її ребер з вимірюваною поверхнею інструмента в потрібному напрямку; гвинтом 6 закріплюють вимірювальну головку і лінійку; по шкалі приладу відраховують значення контрольованого кута.



а)



б)

Рис. 18. Маятниковий кутомір

Пряме призначення приладу вимірювання кутів заточування різця. У цьому випадку площина стола приладу є основною площиною, різець

установлюється основою на плиту (рис. 17). Однак він може бути використаний для контролю геометричних параметрів інших інструментів, одну з координатних площин яких або площину, перпендикулярну їм, можна сполучити із площиною стола приладу.

Маятниковий кутомір призначений для вимірювання кутів різальних інструментів різних видів. Його робота заснована на принципі дії маятника, на одній осі з яким закріплена стрілка. Стрілку фіксують за допомогою кнопки гальма, розташованої на корпусі кутоміра. При натисканні на кнопку стрілка може повертатися під дією вантажу маятника.

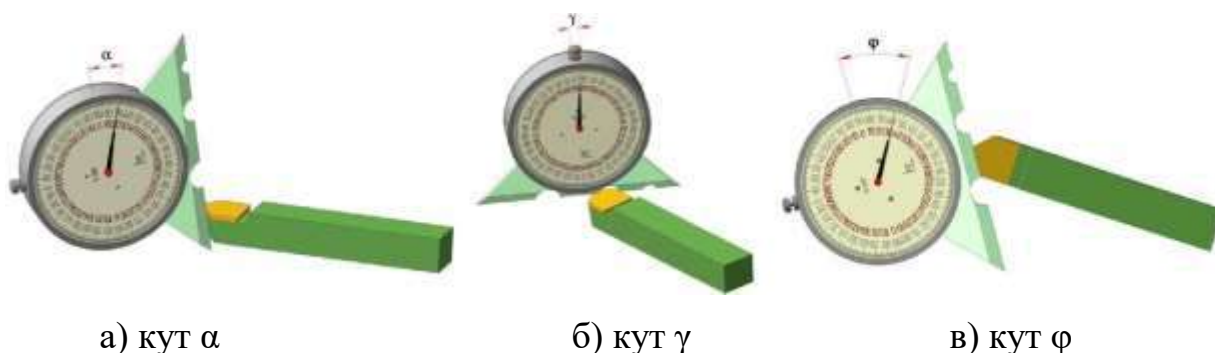


Рис. 19. Вимірювання кутів α , γ , ϕ маятниковим кутоміром

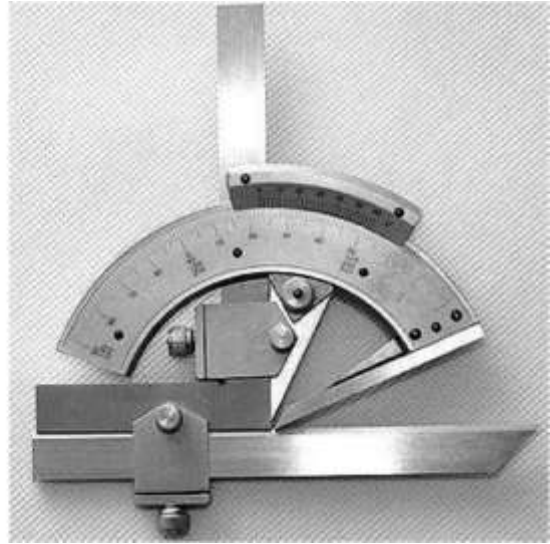
Кругова шкала кутоміра із ціною розподілу 2° має чотири сектори по 90° . Кожний сектор градуйовано від 0° до 45° і від 45° до 0° . До корпусу прикріплена вимірювальна лінійка. При установці ребра лінійки по горизонталі та при натисканні на кнопку стрілка займає вертикальне положення проти нульової поділки (рис. 19, а). При відхиленні ребра лінійки від горизонталі стрілка показує кут нахилу (рис. 19, б).

Різальний інструмент при вимірюванні встановлюють базовою поверхнею на плиту або затискають у центрах. Потім ребро вимірювальної лінійки кутоміра прикладають до поверхні, що визначає вимірюваний кут, натискають на кнопку гальма. Після припинення коливань стрілки відпускають кнопку і відраховують по шкалі показання.

Для вимірювання кутів в плані використовують універсальні кутоміри, що показані на рис. 20. При цьому одна планка кутоміра прикладається до ріжучої кромки, а інша до бічної сторони різця.



а) кутомір 2УРИ/0/25



б) кутомір типу 2 модель 1005 (М127)



в) кутомір 2УМ, 5УМ



г) кутомір 4УМ

Рис. 20. Типи кутомірів згідно ГОСТ 5378–88

Програма підготовки:

1. Вивчити і записати призначення та класифікацію токарних різців.
2. Замалювати елементи різця, координатні площини різця.
3. Вивчити і записати визначення головних і допоміжних кутів, кутів в плані.
4. Визначити зміну значення кутів і вплив на процес різання в залежності від умов різання.
5. Скласти таблицю різновиду передньої і задньої поверхонь різця що найчастіше застосовуються.
6. Ознайомитись з вимірювальними приладами для визначення кутів різця.

Порядок виконання роботи

1. Практично ознайомитись з різновидом токарних різців. Виконати ескіз різця заданого викладачем, з необхідними перетинами та габаритними розмірами з позначенням усіх кутів різця.
2. Ознайомитись з методиками вимірювання кутів різця.
3. Користуючись вимірними інструментами визначити геометричних параметрів різця, заповнити таблицю.

Тип різця	Призначення різця	Марка матеріалу ріжучої частини	Геометрія різця											
			Переріз різця, мм	Кути різця, °										
				Головна січна площина				Допоміжна січна площина		Кути в плані				
				Передній кут	Задній кут	Кут заострення	Кут різання	Допоміжний задній кут	Допоміжний передній кут	Кут в плані φ	Допоміжний кут в плані φ ₁	Кут при вершині в плані	Кут нахилу головної ріжучої кромки	
Позначення														

Контрольні питання

1. Назвіть призначення та елементи токарного різця.
2. Дайте визначення поверхонь і координатних площин при різанні.
3. Дайте визначення і покажіть на зразках головні і допоміжні кути, кути в плані.
4. Поясніть призначення кутів.
5. Які існують співвідношення між кутами?
6. На що і як впливає кут нахилу головної ріжучої кромки?
7. Як впливає на величину кутів різця його положення відносно осі обертання оброблюваної поверхні?
8. Який вплив подачі і діаметру заготовки на величину кутів різця в процесі різання?
9. Які найрозповсюджені форми передньої і задньої поверхонь різця?
10. Які методики використовуються для визначення і контролю параметрів кутів токарного різця?

Лабораторна робота № 3

Тема: ВИВЧЕННЯ ЯВИЩА УСАДКИ СТРУЖКИ

Мета роботи: Дослідження усадки стружки в залежності від елементів режиму різання (v , t , S).

Обладнання та інструменти: токарно-гвинторізний верстат 16К20, штангенциркуль, заготовка діаметром 50 мм із сталі 45, калькулятори МК - 61.

Зміст звіту:

1. Повторити теоретичний матеріал.
2. Замалювати зони деформації в металі при різанні.
3. Проаналізувати графіки залежності коефіцієнта усадки від швидкості різання, подачі та кута різання (письмово).
4. Дати відповіді на контрольні запитання.

Теоретичні відомості

Фізичні основи процесу різання

Процес стружкоутворення є надзвичайно складним процесом. Він супроводжується пружною і пластичною деформаціями, руйнуванням металу, значним тертям, тепловиділенням, пароутворенням, усадкою стружки, підвищенням твердості поверхневих шарів металу, що деформується, спрацюванням різального інструменту, виходом електронів із металу.

Ще в кінці минулого століття, вивчаючи процес різання, І.А. Тіме встановив, що різання - це процес безперервного послідовного зсуву (сколювання) елементів зрізуваного шару.

На рис. 3.1 зображено схему послідовного утворення елементів стружки (1, 2, 3 і т. д.). Різальний інструмент, переміщуючись під дією сили P (рис. 3.1, а), деформує матеріал, що лежить на його шляху.

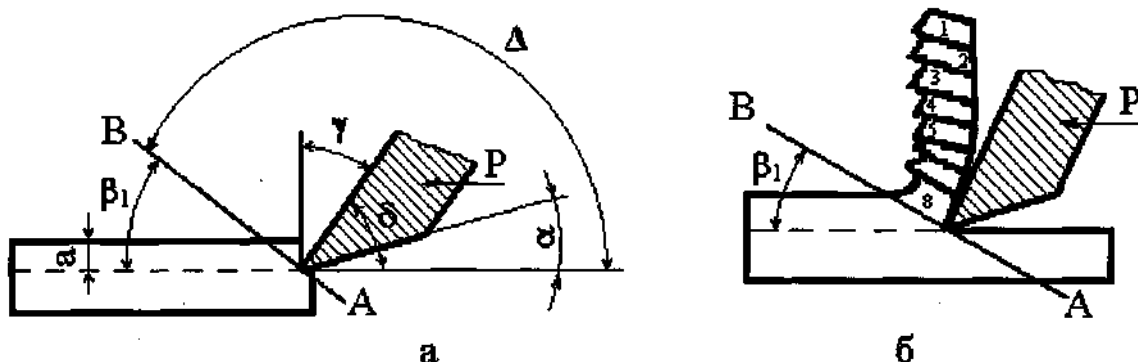


Рис. 3.1. Схема утворення стружки по І. А. Тіме.

У момент найбільшої деформації, допустимої для певного оброблюваного матеріалу, він сколюється в напрямі площини АВ, утворюючи елемент стружки. Цю площину називають *площиною сколювання* або *площиною зсуву*. Вона утворює з дотичною до поверхні різання кут β_1 , який називається *кутом сколювання* або *кутом зсуву*.

Після сколювання **першого елемента** стружки різальний інструмент своєю передньою поверхнею деформує наступний сусідній шар матеріалу, в результаті чого утворюється **другий елемент**, який відділяється від основної маси по площині максимальних дотичних напружень під тим самим кутом β і т. д. (рис. 3.1, б).

У процесі утворення елемента стружки сила різання зростає, а із сколюванням його зменшується, що приводить до коливань сили, яка діє на інструмент з боку оброблюваної заготовки. І. А. Тіме встановив також, що залежно від кута різання δ кут $\Delta = 180^\circ - \beta$ лежить у межах $145^\circ - 155^\circ$. Із збільшенням кута δ кут Δ зростає.

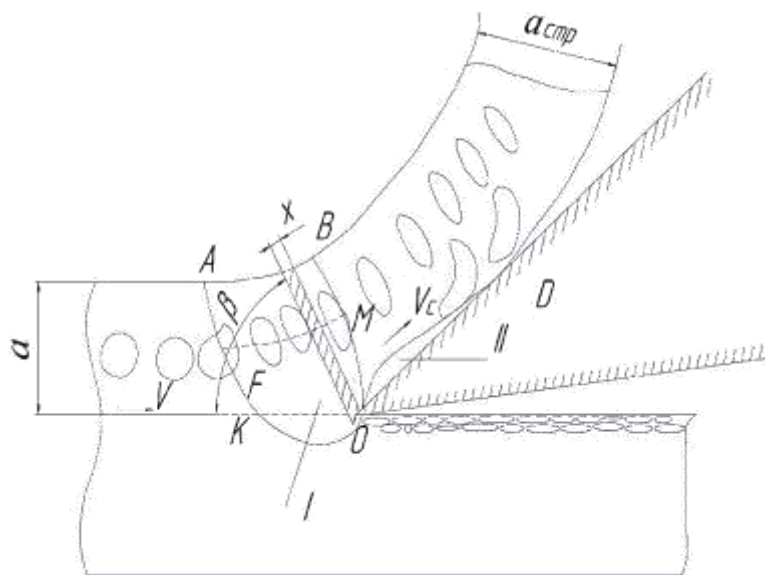


Рис. 3.2 *Механізм утворення зливної стружки*
 I – зона первинної деформації;
 II – зона вторинної деформації.

Зерно зрізаного шару, що розташоване лівіше лінії ОКА (рис. 3.2), недеформоване. Воно переміщується відносно різця з швидкістю різання V і в точці Р починає деформуватися. Проходячи траєкторію свого руху, воно одержує все більший ступінь деформації. Деформація закінчується в точці М, де зерно набуває швидкості V_c , яка дорівнює швидкості стругання. Досвід показує, що ширина стружки порівняно з шириною зрізаного шару майже не змінюється. З цієї причини можна прийняти, що деформований стан в зоні стружкоутворення є плоским і зрізаний шар в процесі різання набуває деформації зсуву.

На основі цього зроблено висновок, що лінія ОКА фізично є поверхнею зсуву, на котрій напруження зсуву τ дорівнюють границі текучості τ_{so} матеріалу на зсув: $\tau = \tau_{so}$. Вся **зона I** складена з подібних поверхонь, на кожній з котрих напруження зсуву дорівнюють границі текучості матеріалу, вже набувшого деякого ступеня зміцнення в результаті попередньої деформації.

Лінія ОМВ окреслює поверхню, на якій мала місце залишкова деформація зсуву, на ній напруження зсуву T дорівнюють границі текучості T_s на зсув остаточно зміцненого в результаті перетворення зрізаного шару матеріалу: $T = T_s$; якби між передньою поверхнею різця і контактною поверхнею стружки було відсутнє тертя, то на цьому деформація зерен і закінчилась би. Але між нами завжди є тертя. З цієї причини зерна стружки, які контактують з різцем, додатково деформуються в **зоні вторинної деформації II**, окресленої OD.

Я.Г. Усачов, який вперше дослідив процес різання металографічним методом, встановив, що мікроструктура стружки і основної маси оброблюваного металу різні. В елементах стружки є площини ковзання, які не збігаються за напрямом з площинами сколювання. Ці площини утворюють з дотичною до поверхні різання кут β_2 ($\beta_2 < \beta_1 < 90^\circ$).

Вигляд стружки, яка утворюється під час різання матеріалу, залежить, в основному, від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, геометрії і форми загострення різального інструменту і режимів різання.

Розрізняють такі основні види стружок: зливну, сколювання і надлому.

Зливна стружка (рис. 3.3, а) утворюється в процесі обробки пластичних матеріалів з великою швидкістю різання і порівняно малою товщиною зрізу. Ця стружка являє собою стрічку, гладеньку з одного боку і майже непомітними невеликими зазубринками з другого. У зливної стружки непомітні площини зсуву. Це свідчить про те, що утворення її відбувається при невеликій пластичній деформації. При утворенні зливної стружки менша сила різання і краще оброблена поверхня, ніж при утворенні, наприклад, стружки сколювання. Отже, тип стружки при обробці пластичних матеріалів може бути оцінкою вибраних умов різання.

Утворення зливної стружки в процесі різання може призвести до травматизму. Вона часто намотується на заготовку, патрон, різальний інструмент, заважає роботі, є труднощі при її транспортуванні. Тому при різанні застосовують спеціальні стружколами або заточують передню поверхню різця так, щоб утворювалась стружка у вигляді пружини малого діаметру.

Стружка сколювання (рис. 3.3, б) утворюється при обробці пластичних матеріалів з невеликою швидкістю різання, коли знімається шар значної товщини інструментом з відносно великим кутом різання. Ця стружка складається з окремих сильно деформованих елементів правильної геометричної форми. З боку передньої поверхні різця стружка має гладку поверхню, а з протилежного боку - ступінчату.

Стружка надлому (рис. 3.3, в) утворюється при обробці крихких і твердих матеріалів. Вона складається з окремих елементів різної форми, які не зв'язані між собою або зв'язані дуже слабо.

При утворенні стружки надлому вздовж площини сколювання виникає попереджуюча тріщина, по якій від основної маси матеріалу відокремлюється елемент стружки. Оброблена поверхня в цьому випадку має значну шорсткість.

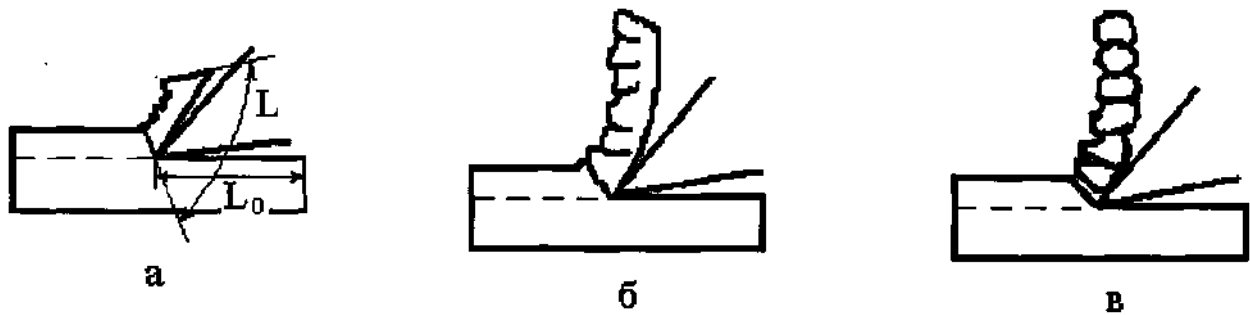
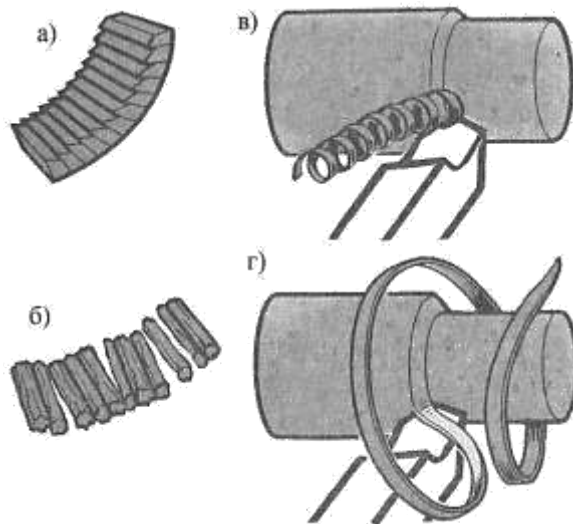


Рис. 3.3. Види стружок: а - зливна, б - сколювання, в - надлому.



а- сколювання, б – надлому, в, г - зливна

Усадка стружки

У результаті пластичних деформацій, що виникають під час різання, довжина утвореної стружки L виявляється меншою, ніж шлях L_0 , пройдений різцем (рис. 3.3, а), а товщина стружки більшою, ніж товщина зрізаного шару.

Скорочення стружки по довжині називають **усадкою стружки**. Вона характеризується коефіцієнтом усадки K , що чисельно дорівнює відношенню довжини L_0 ділянки, з якої зрізано стружку, до довжини L самої стружки:

$$K = L_0 / L.$$

Коефіцієнт K практично завжди більший за 1. Коефіцієнт усадки пластичних матеріалів може досягти 6-8.

На величину усадки стружки впливають пластичність оброблюваного матеріалу, кут різання, передній кут, товщина зрізаного шару.

При збільшенні переднього кута усадка стружки зменшується, оскільки при цьому зменшується деформація зрізаного шару металу і зменшується сила різання. Якщо, наприклад, довжину стружки, зрізаної різцем з $\gamma = 45^\circ$, взяти за 100, то при $\gamma = 0$ довжина її зменшиться в 4 рази. При цьому значно збільшується потужність різання.

Із збільшенням товщини зрізуваного шару усадка стружки зменшується. Якщо при товщині зрізу $a = 2$ мм довжину стружки взяти за 100, то при товщині зрізу $a = 0,5$ мм стружка усаджується до 68, тобто вона стає коротшою більш як у 1,4 рази. У зв'язку з тим, що на товщину стружки впливає величина подачі S , то для зменшення питомої потужності різання необхідно працювати з більшими подачами.

На величину усадки стружки впливають також швидкість різання, наріст на передній поверхні різця, мастильно-охолоджуючі речовини.

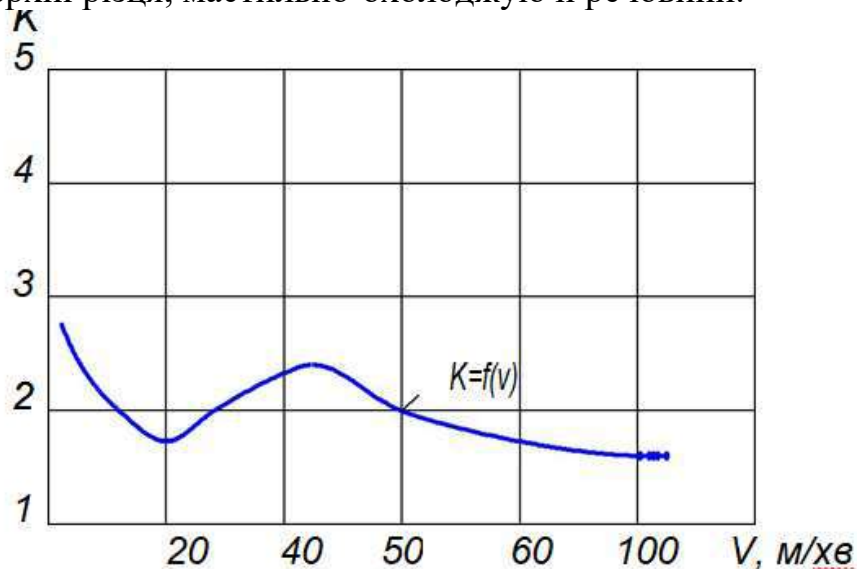
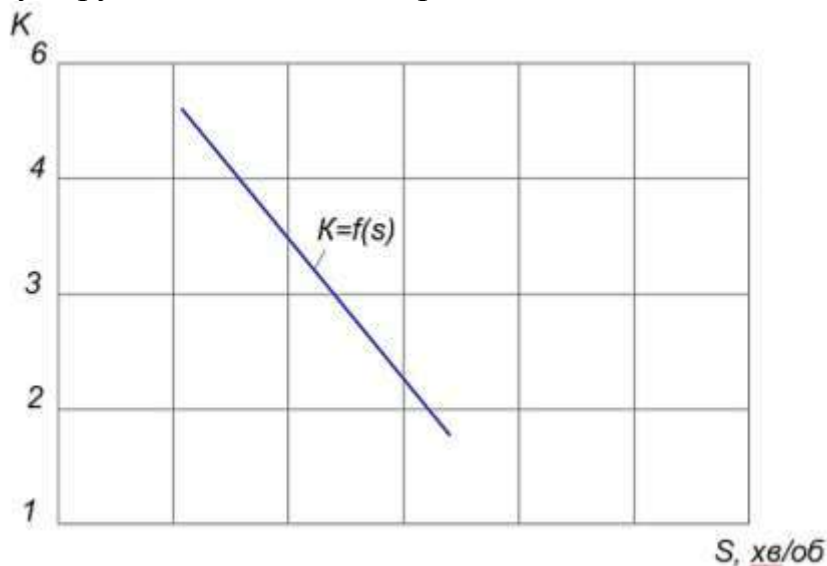


Рис. 3.4. Залежність коефіцієнта усадки від швидкості різання

Із збільшенням швидкості різання зменшується тертя стружки по передній поверхні різця, а значить зменшується і величина деформації самої стружки. При високій швидкості різання кожний елемент стружки не встигає деформуватись так повно, як при малій швидкості. Пластична деформація відбувається не по всьому елементу стружки, а тільки на порівняно малих ділянках.



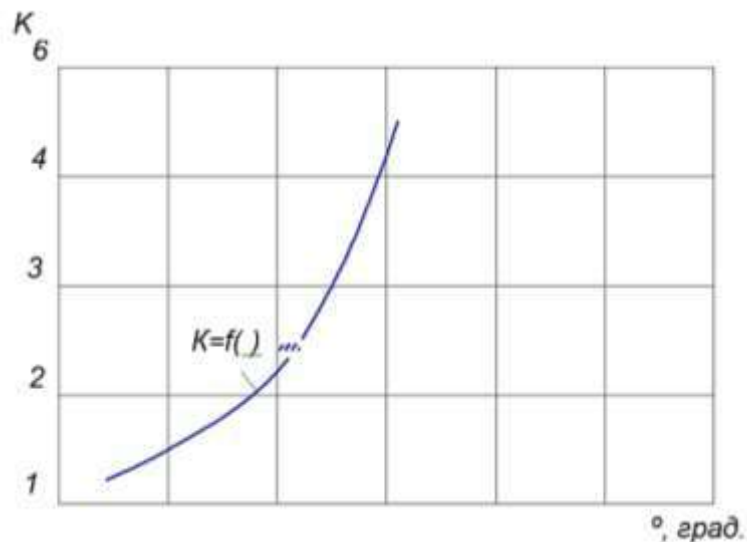


Рис. 3.5. Залежність коефіцієнта усадки від подачі та кута різання

Проміжки між ними заповнені майже недеформованими частинками металу.

Наріст, що утворюється на передній поверхні різця при малих швидкостях різання, зменшує кут різання, а значить і деформацію стружки. Тому при утворенні наросту коефіцієнт усадки стружки зменшується.

Контрольні запитання

1. Назвати зони деформації металу при різанні.
2. Що таке коефіцієнт усадки стружки?
3. Вплив кутів різання на деформацію і коефіцієнт усадки стружки.
4. У якому випадку утворюється зливна стружка?
5. У якому випадку утворюється стружка сколювання?
6. У якому випадку утворюється стружка надлому?
7. Вплив властивостей оброблюваного матеріалу на деформацію і коефіцієнт усадки стружки.

Лабораторна робота № 4

Тема: ВПЛИВ ЕЛЕМЕНТІВ РЕЖИМУ РІЗАННЯ І ГЕОМЕТРІЇ РІЗЦЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧІННІ

Мета роботи: Дослідити вплив елементів режиму різання t , S , V на температуру різання при токарній обробці.

Обладнання та інструменти: токарно-гвинторізний верстат; термомпари; мілівольтметр; набір різців - матеріал Р18 з передніми кутами $\gamma = 15, 10, 5, -10^\circ$; головними кутами в плані $\phi = 30, 45, 60, 75^\circ$; радіусами заокруглення при вершині $r = 2, 4, 6, 8$; заготовка з матеріалу - сталь 45.

Зміст звіту:

1. Схема установки для вимірювання температури.
2. Таблиця результатів дослідів.
3. Графіки впливу глибини, подачі, швидкості різання, переднього і головного кутів в плані та радіуса заокруглення на температуру.
4. Розрахунки коефіцієнтів x, y, z і C_0 і підсумкова формула.
5. Висновки по роботі.

Теоретичні відомості

Теплові явища під час різання металів

У процесі різання металів виділяється тепло, яке нагріває ріжучий інструмент, деталь і стружку.

Загальна кількість тепла, яке виділяється в одиницю часу, може бути визначена за енергією, яка витрачається на процес різання, оскільки майже вся енергія (95 %) деформації і тертя переходять в тепло і тільки 5 % енергії витрачається на внутрішньокристалічні перетворення.

Відповідно, $Q = \alpha \times P_z \times v / 427$ (ккал/хв.),

де Q - загальна кількість тепла, яке виділяється;

P_z - сила різання, кг;

v - швидкість різання, м/хв;

$\alpha = 0,9 \div 0,99$ - коефіцієнт, який враховує долю енергії, що переходить в теплоту.

Тепловиділення має вирішальний вплив на процес різання, оскільки нагрів інструмента викликає зміну його міцності і зносостійкості.

Рівняння теплового балансу при різанні має вигляд:

$$Q_{\text{деф}} + Q_{\text{тр.п}} + Q_{\text{тр.з.}} = Q_{\text{стр}} + Q_{\text{заг}} + Q_{\text{різець}} + Q_{\text{навок серед}},$$

де $Q_{\text{деф}}$ - кількість тепла, яке виділяється в результаті пластичної деформації:

$Q_{\text{тр.п.}}$ - кількість тепла, яке виділяється під час тертя стружки об передню поверхню різця:

$Q_{\text{тр.з.}}$ - кількість тепла, яке виділяється під час тертя заготовки об задню поверхню різця:

$Q_{\text{стр}}$ - тепло, яке відходить із стружкою:

$Q_{\text{заг}}$ - тепло, яке потрапляє в деталь:

$Q_{\text{різець}}$ - тепло, яке виходить в різець;

$Q_{\text{навок серед}}$ - тепло, яке надходить у навколишнє середовище.

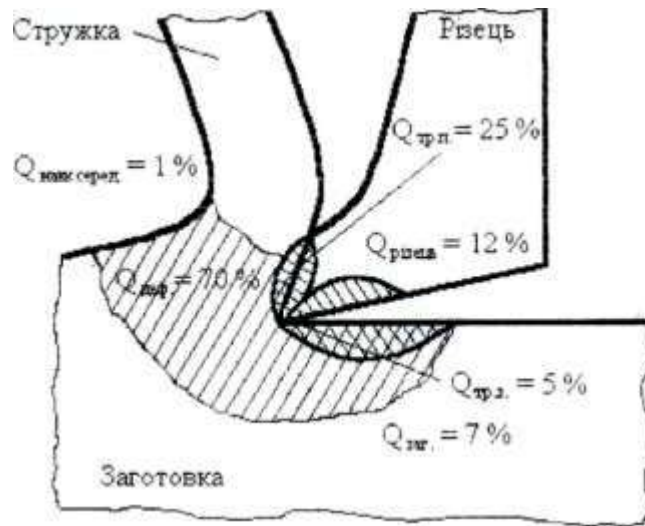


Рис. 4.1. Зони тепловиділення під час різання.

Так, під час точіння конструкційних сталей різцем зі швидкістю $v < 50$ м/хв.: $Q_{\text{деф}} = 75\%$; $Q_{\text{тр.п}} = 25\%$; $Q_{\text{стр}} = 50\%$; $Q_{\text{різець}} = 40\%$; $Q_{\text{заг}} = 9\%$; $Q_{\text{навк серед}} = 1\%$; а зі швидкістю $v \geq 200$ м/хв.: $Q_{\text{деф}} = 25\%$; $Q_{\text{тр.п}} = 75\%$; $Q_{\text{стр}} = 86\%$; $Q_{\text{різець}} = 10\%$; $Q_{\text{навк серед}} = 1\%$; $Q_{\text{заг}} = 3\%$; $Q_{\text{навк серед}} = 1\%$.

Температура різця і деталі в різних точках неоднакова. Сукупність миттєвих значень температур для всіх точок в межах об'єму різця або деталі називається *температурним полем*.

Кількісні значення членів рівняння балансу тепла непостійні і залежать від режимів різання, фізико-механічних властивостей матеріалів заготовки і різця (рис. 4.1).

На рис. 4.2 показано температурне поле різця з пластинкою із Т14К8 при різання статі ШХ15.

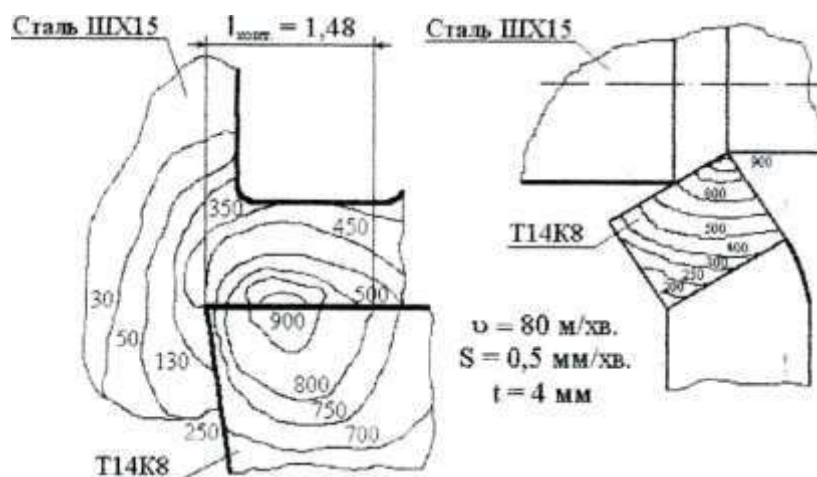


Рис. 4.2. Температурне поле різця