

Лекція 3

РОЗДІЛ 2 ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

Тема 2. Матеріали, що застосовуються для виготовлення інструменту для механічної обробки матеріалів

2.1 Основні вимоги до інструментальних матеріалів

Ефективність РІ визначається його працездатністю при максимально можливій стійкості і залежить від головним чином від матеріалу робочої частини.

Одним з ефективних шляхів підвищення продуктивності праці в машинобудуванні є застосування нових інструментальних матеріалів (ІМ). Наприклад, застосування швидкорізальної сталі замість вуглецевої дозволило збільшити швидкість різання у 2 – 3 рази. Це викликало потребу суттєво удосконалити конструкцію металорізальних верстатів, перш за все, збільшити їх швидкохідність та потужність. Аналогічне явище спостерігалось також при використанні твердих сплавів.

Робоча частина металорізальних інструментів (РІ) виготовляється з різних матеріалів. Вибір матеріалу визначається цілою низкою чинників, основними з яких є:

- конструкція інструменту;
- технологія виготовлення інструменту;
- ефективність використання інструменту.

Всі ІМ поділяються на кілька груп (рис.1): вуглецеві, леговані та швидкорізальні сталі, тверді сплави, мінералокерамічні матеріали, алмази та інші надтверді та абразивні матеріали.

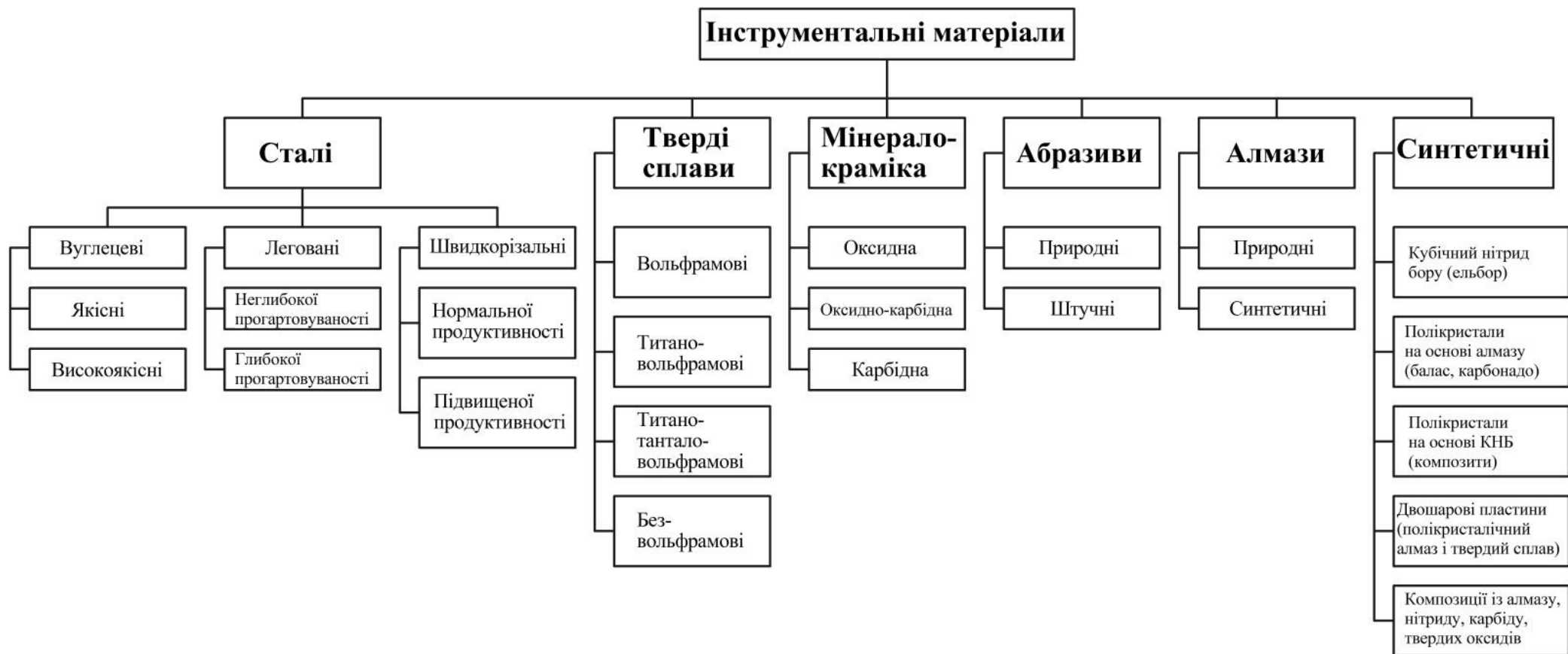


Рисунок 1 – Інструментальні матеріали

В загальному випадку до ІМ пред'являють певні вимоги, які можна об'єднати в три *групи*:

- **експлуатаційні** (висока теплостійкість, зносостійкість, достатня міцність, гарна теплопровідність, мала схватуємість з оброблювальним матеріалом);
- **технологічні** (гарна оброблювальність, особливо шліфуємість, здатність до пластичного деформування, необхідні властивості ТО (гарна закалюваність, прокалюваність);
- **економічні** (забезпечення мінімальних затрат на виготовлення РІ, які впливають на собівартість продукції, що випускається).

При виборі ІМ необхідно враховувати їх основні властивості: теплостійкість, зносостійкість, поведінка при термічній обробці (деформація, прогартовуваність, схильність до знеуглецювання), механічні властивості, оброблюваність, вартість.

В процесі різання на контактних поверхнях РІ розвивається висока температура (800...900 °С і вище) в залежності від режиму різання. В результаті цього ІМ втрачає свою вихідну твердість. Тому він повинен мати високу **теплостійкість**.

Теплостійкість – *властивість ІМ зберігати досить високу твердість при нагріванні під час роботи РІ протягом періоду стійкості*. Висока теплостійкість дозволяє забезпечувати продуктивну роботу РІ.

Крім цього, ІМ повинен володіти **малою чутливістю до теплових циклічних навантажень**, що характерно для переривчастого різання.

Високі швидкості відносного переміщення заготовки, стружки та РІ викликають інтенсивний знос контактних поверхонь. У зв'язку з цим повинна бути висока **зносостійкість** матеріалу.

Зносостійкість – *здатність ріжучої кромки чинити опір стиранню при різанні*. Різальна частина РІ повинна мати **високу зносостійкість** в умовах високих тиску і температур.

Висока **теплопровідність** ІМ сприяє кращому відводу тепла з зони різання і підвищує зносостійкість.

Поведінка при термічній обробці (ТО) характеризується кількома факторами:

- деформація, тобто зміна форми і розмірів інструментів при ТО;
- прогартовуваність – здатність сприймати загартовування на весь перетин інструменту або тільки на певну глибину (загартовуваність – здатність сталі набувати в результаті загартовування високу твердість);
- схильність до знеуглецювання, до зменшення вмісту вуглецю на поверхні, що веде до зниження твердості поверхневого шару.

Механічні властивості визначають *здатність ІМ чинити опір силовим навантажнням*. Основною характеристикою є **твердість**. ІМ повинен мати **високу твердість**, щоб ріжучий клин не деформувався і протягом тривалого часу зрізав стружку. Значне перевищення твердості ІМ в порівнянні із твердістю оброблюваної заготовки повинно зберігатися і при нагріванні РІ в процесі різання.

При різанні контактні нормальні напруження, що виникають від тиску стружки на

передню поверхню, досягають великих значень (порядку 50 – 70 кг/мм²). Крім цього РІ найчастіше доводиться працювати в умовах переривчастого різання. Тому важливою вимогою є також достатньо **висока міцність** ІМ, оскільки при недостатній міцності відбувається викришування різальних кромek або поломка інструменту, особливо при їх невеликих розмірах.

ІМ повинні мати **хороші технологічні властивості**, тобто легко оброблятися в процесі виготовлення інструменту і його переточувань.

Оброблюваність характеризує **можливість продуктивної і якісної обробки ІМ в холодному стані (різання, шліфування) і в гарячому (кування, штампування, прокатка)**.

Економічність ІМ. Він повинен бути по можливості дешевим і не містити дефіцитних елементів. Вартість ІМ необхідно враховувати при виборі їх для конкретного інструменту.

У таблиці 1 наведено основні дані про властивості ІМ.

Таблиця 1 – Властивості інструментальних матеріалів

Назва матеріалу	Теплостійкість, °C	Зносо-стійкість	Поведінка при термічній обробці			Твердість	Оброблюваність		Допустима швидкість різання, м/хв
			Деформація	Прокалю-ваність	Знеугле-цювання		Холодний стан	Гарячий стан	
Вуглецеві сталі	200-250	Задовільна	Велика	Задовільна	Незначне	HRCe 63...65	Гарна	Гарна	3 – 5
Леговані сталі	250-350	Підвищена	Мала	Гарна	Незначне	HRCe 63...67	Гарна	Гарна	10 – 15
Швидко-різальні сталі	610-670	Висока	Мала	Гарна	Велике	HRCe 63...67	Задовільна	Задовільна	30 – 40
Тверді сплави	750-1000	Висока				HRAe 88...92	Задовільна		150 – 300
Мінерало-кераміка	1000-1200	Висока				HRAe 91...95	Задовільна		250 – 500
Алмаз	800-850	Дуже висока				До 100000 МПа			500 – 3000
Синтетичні матеріали (ельбор)	1200-1500	Дуже висока				До 80000 МПа			150 - 5000

2.2 Матеріали, що застосовуються для робочої частини інструментів

2.2.1 Інструментальні сталі

Вуглецеві сталі (ВС). Сталі звичайної якості марок У7-У13 та високоякісні марок У7А-У13А мають 0,7 – 1,3% вуглецю. Літера У в маркуванні вказує на групу сталі (вуглецеві), а літера А – що сталь високоякісна (покращена) за вмістом і містить знижену величину шкідливих домішок – сірки до 0,02% та фосфору – до 0,03%.

Застосовуються ВС порівняно рідко і лише для ручних та ударних РІ, а також для робочих елементів (матриць та пуансонів) штампів для холодного штампування.

РІ, виготовлені із ВС марок У10А, У11А, У12А, У13А, мають достатню твердість, міцність та зносостійкість при кімнатній температурі, проте теплостійкість їх невелика. При температурі 200 – 250 °С відбувається виділення карбідів заліза, їх розміри збільшуються і їх твердість різко зменшується. Тому вони застосовуються для виготовлення ручних і машинних РІ, призначених для обробки м'яких металів з низькими швидкостями різання, таких як рашпілі, дрібні свердла, розвертки, мітчики, плашки тощо.

ВС мають низьку твердість в стані постачання, що забезпечує їх гарну оброблюваність різанням і тиском. Для отримання необхідної твердості ВС піддають загартовуванню з подальшим відпуском для зняття залишкових напруг і підвищення міцності і в'язкості. Температура загартовування коливається в межах 760 – 820 °С в залежності від розмірів інструменту і вмісту вуглецю. Однак вони вимагають застосування при загартовуванні різких загартовувальних середовищ (вода), що підсилює жолоблення РІ (коробление – спотворення форми виробу внаслідок дії внутрішніх залишкових напружень поверхневого шару, викликаних нерівномірним нагріванням або охолодженням, деформацією або фазовими перетвореннями металу) і небезпеку утворення тріщин.

Перевагами ВС є невисока вартість та гарна шліфуємість. Невелика прокалюваність дозволяє отримати РІ із в'язкою серцевиною, що є дуже важливим при обробці з ударними навантаженнями. РІ із ВС погано шліфуються із-за сильного нагрівання, відпуску і втрати твердості різальних кромek. Із-за великих деформацій при ТО і поганої шліфуємості ВС не використовуються при виготовленні фасонних РІ, що підлягають шліфуванню по профілю.

Леговані сталі (ЛС). З метою поліпшення різальних властивостей ВС були розроблені низьколеговані сталі. Вони мають більшу прогартовуваність і загартовуваність, меншу чутливість до перегрівання і добре обробляються різанням і тиском.

За теплостійкістю ЛС несуттєво перевершують ВС. Вони зберігають високу твердість при нагріванні до 200 – 260 °С, і тому непридатні для різання з підвищеною швидкістю, а також для обробки твердих матеріалів. Термообробка низьколегованих сталей полягає в загартовуванні в маслі при температурі нагріву 820 – 875 °С з

наступним відпуском при температурі 150 – 180°C.

Основними легуючими елементами служать хром, ванадій, молібден, марганець, кремній і вольфрам. Найбільшого поширення набули такі марки сталей: 9ХС, ХВГ, Х12, Х12Ф, Х12М, ХМР, ХГСВФ.

Область застосування низьколегованих сталей така ж, що і для ВС: для ручних і машинних інструментів (які працюють з невеликими швидкостями), для накатних інструментів і для робочих елементів штамів.

Низьколеговані інструментальні сталі поділяються на сталі *неглибокої та глибокої прогартовуваності*. Для виготовлення РІ використовуються сталі 11ХФ, 13Х, ХВ4, В2Ф неглибокої прогартовуваності та сталі Х, 9ХС, ХВГ, ХВСГ глибокої прогартовуваності.

Сталі неглибокої прогартовуваності, леговані хромом (0,2-0,7 %), ванадієм (0,15-0,3 %) і вольфрамом (0,5-0,8 %), використовуються при виготовленні РІ типу стрічкових пил і ножівкових полотен. Деякі з них мають більш спеціалізоване застосування. Наприклад, сталь ХВ4 рекомендується для виготовлення інструментів, призначених для обробки матеріалів, що мають високу поверхневу твердість, при відносно невеликих швидкостях різання.

Характерною особливістю сталей глибокої прогартовуваності є більш високий вміст хрому (0,8-1,7 %), а також комплексне введення у відносно невеликих кількостях таких легуючих елементів, як хром, марганець, кремній, вольфрам, ванадій, що істотно підвищує прогартовуваність. У виробництві інструментів із даної групи найбільше застосування знаходять сталі 9ХС і ХВГ.

У сталі 9ХС спостерігається рівномірний розподіл карбідів по перерізу. Це дозволяє використовувати її для виготовлення РІ відносно великих розмірів, а також для різенарізних інструментів, особливо круглих плашок з дрібним кроком різі. Разом з тим, сталь 9ХС має підвищену твердість у відпаленому стані, високу чутливість до знеуглецювання при нагріванні.

Сталі ХВГ, ХВСГ, що містять марганець, мало деформуються при ТО. Це дозволяє рекомендувати сталь для виготовлення РІ типу протяжок та довгих мітчиків, до яких висуваються жорсткі вимоги щодо стабільності розмірів при ТО. Сталь ХВГ має підвищену карбідну неоднорідність, особливо при перерізах, більших 30-40 мм, що підсилює викривлення різальних кромок і не дозволяє рекомендувати її для РІ, які працюють в тяжких умовах.

Швидкорізальні сталі (ШРС). В даний час для виготовлення РІ застосовуються ШРС. В залежності від призначення їх можна поділити на дві групи:

- сталі нормальної продуктивності;
- сталі підвищеної продуктивності.

До сталей першої групи відносяться сталі Р18, Р12, Р9, Р6М3, Р6М5, які застосовуються для РІ, що оброблюють звичайні конструкційні сталі. До сталей другої групи – Р6М5Ф3, Р12Ф3, Р18Ф2К5, Р10Ф5К5, Р9К5, Р9К10, Р9МЧК8, Р6М5К5 та ін., які застосовуються для РІ, що оброблюють нержавіючі, жароміцні та ін. матеріали.

У позначенні марок літера Р вказує на те, що сталь відноситься до групи швидкорізальних. Цифра, наступна за нею, показує середній вміст основного легуючого елементу – вольфраму у відсотках. Середній вміст ванадію в сталі у відсотках позначається цифрою, що проставляється за літерою Ф, кобальту – цифрою, наступною за літерою К.

Високі різальні властивості ШРС забезпечуються за рахунок легування сильними карбідотвірними елементами: вольфрамом, молібденом, ванадієм, і некарбідотвірним кобальтом. Вміст хрому у всіх ШРС складає 3,0-4,5 % і в позначенні марок не вказується. Практично у всіх марках ШРС допускається вміст сірки і фосфору не більше 0,3 % і нікелю – не більше 0,4 %.

Суттєвим недоліком цих сталей є значна неоднорідність карбіду, особливо в прутках великого перерізу. Зі збільшенням неоднорідності карбіду міцність сталі знижується, при роботі викришуються різальні кромки РІ і знижується його стійкість. Карбідна неоднорідність виражена сильніше в сталях з підвищеним вмістом вольфраму, ванадію, кобальту. У сталях з молібденом карбідна неоднорідність проявляється менше. РІ зі сталі з великою карбідною неоднорідністю мають знижену стійкість і підвищену крихкість.

Вплив окремих елементів на властивості сталей різний: вольфрам додає сталі теплостійкість; хром надає сталі гарну прогартуваність, ванадій збільшує теплостійкість, але погіршує шліфуємість; молібден впливає на теплостійкість сталі також як і вольфрам, якщо їх співвідношення по масі Мо: W = 1,0:1,5 і в разі, якщо в сталь вводиться до 5% Мо; кобальт карбідів не утворює, але підвищує її твердість і теплостійкість. При масовій частці кобальту більше 5% збільшується її крихкість.

ШРС характеризуються складністю ТО (ступінчастий нагрів під загартування до температури 1260 – 1300 °С, висока температура нагріву при малому допустимому інтервалі, необхідність захисної атмосфери, багатократний відпуск при температурі 550 – 580 °С).

Підвищення ріжучих властивостей ШРС можна домогтися раціональними режимами ТО, поверхневим зміцненням (хромування, ціанування, сульфидування), зниженням карбідної неоднорідності, пластичним деформуванням.

Дедалі поширенішими методами підвищення зносостійкості стають покриття нітридами титану (TiN). Використовуються багат шарові покриття.

Швидкорізальна сталь Р18, що містить 18% вольфраму, довгий час була найпоширенішою. РІ, виготовлені з цієї сталі, після ТО мають твердість 63...66 HRC_e, теплостійкість – 600 °С, і достатньо високу міцність. Сталь Р18 порівняно добре шліфується. Велика кількість надмірної карбідної фази робить сталь Р18 більш дрібнозернистою, менш чутливою до перегрівання при загартуванні, більш зносостійкою.

Зважаючи на високий вміст вольфраму, сталь Р18 доцільно використовувати лише для виготовлення РІ високої точності, коли сталі інших марок недоцільно застосовувати із-за припиків різальної частини при шліфуванні та заточуванні.

Сталь Р9 за теплостійкістю та різальними властивостями майже не поступається сталі Р18. Недоліком сталі Р9 є знижена шліфуємість, що пояснюється порівняно високим вмістом ванадію та присутністю у структурі дуже твердих карбідів. Разом з тим, сталь Р9, в порівнянні зі сталлю Р18, має більш рівномірний розподіл карбідів, трохи більші міцність та пластичність, що полегшує її деформованість в гарячому стані. Вона придатна для РІ, що отримуються різними методами пластичної деформації. Із-за зниженої шліфуємість сталі Р9 застосовують обмежено.

Сталь Р12 рівноцінна за різальними властивостями сталі Р18. В порівнянні зі сталлю Р18 сталь Р12 має меншу карбідну неоднорідність, підвищену пластичність і придатна для РІ, що виготовляються методом пластичної деформації. В порівнянні зі сталлю Р9, сталь Р12 краще шліфується, що пояснюється вдалим поєднанням легуючих елементів.

Сталі марок Р18М, Р9М відрізняються від сталей Р18 і Р9 тим, що вони у своєму складі замість вольфраму містять до 0,6-1,0 % молібдену (з розрахунку, що 1% молібдену замінює 2% вольфраму). Ці сталі мають рівномірно розподілені карбіди, але більш схильні до знеуглецювання. Тому загартовування РІ необхідно проводити у захисній атмосфері. Однак за основними властивостями сталі Р18М і Р9М не відрізняються від сталей Р18 і Р9 і мають ту ж область застосування.

Вольфрамо-молібденові сталі типу Р6М3, Р6М5 є новими сталями, що значно підвищують як міцність, так і стійкість РІ. Молібден обумовлює меншу карбідну неоднорідність, ніж вольфрам. Тому заміна 6...10% вольфраму відповідною кількістю молібдену знижує карбідну неоднорідність ШРС приблизно на 2 бали і відповідно підвищує пластичність. Недолік молібденових сталей полягає в тому, що вони мають підвищену чутливість до знеуглецювання.

Вольфрамо-молібденові сталі рекомендується застосовувати для виготовлення РІ, що працює у важких умовах, коли необхідна підвищена зносостійкість, знижена неоднорідність карбіду і висока міцність.

Сталь Р18 з великою карбідною неоднорідністю, особливо у великих перерізах (діаметром більше 50 мм), доцільно замінити на сталі Р6М3, Р12. Сталь Р12 придатна для протяжок, свердел, особливо в перерізах діаметром менше 60-70 мм.

Сталь Р6М3 доцільно використовувати для РІ, що виготовляються способом пластичної деформації, для РІ, які працюють з динамічними навантаженнями, і для РІ великих перерізів з малими кутами загострення на різальній частині.

Серед ШРС нормальної продуктивності домінуюче положення зайняла сталь Р6М5. Її застосовують для виготовлення всіх видів різальних інструментів. Інструменти зі сталі Р6М5 мають стійкість, рівну або до 20% вищу, ніж стійкість інструментів зі сталі Р18.

В порівнянні зі сталями нормальної продуктивності, високованадієві сталі підвищеної продуктивності мають в основному більш високу зносостійкість, а сталі, які містять кобальт, – більш високу червоність та теплопровідність. Разом з тим, ШРС підвищеної продуктивності, що містять кобальт, мають підвищену

чутливість до знеуглецювання. ШРС підвищеної продуктивності шліфуються гірше сталі Р18 і вимагають точного дотримання температур нагрівання при ТО. Погіршення шліфуємості виражається у підвищенні зношування абразивних кругів і збільшенні товщини поверхневого шару сталі, який ушкоджується при зайво жорсткому режимі шліфування.

ШРС підвищеної продуктивності із-за технологічних недоліків не є сталями універсального призначення. Вони мають відносно вузькі межі застосування, більш придатні для РІ, що піддаються незначному профільному шліфуванню.

Основною маркою ШРС підвищеної продуктивності, є сталь Р6М5К5. Вона застосовується для виготовлення різних РІ, призначених для обробки конструкційних сталей на підвищених режимах різання, а також нержавіючих сталей і жароміцних сплавів.

Перспективним способом отримання ШРС є метод порошкової металургії.

Головною відмінною особливістю порошкових сталей є рівномірний розподіл карбідів по перерізу, який не перевищує першого бала шкали неоднорідності карбиду (ГОСТ 19265-73). У певних умовах, як показують експерименти, стійкість РІ з порошкових сталей у 1,2 – 2,0 рази вища за стійкість РІ, виготовлених зі сталей звичайного виробництва. Найраціональніше порошкові сталі використовувати при обробці важкооброблюваних складнолегованих матеріалів і матеріалів, що мають підвищену твердість ($HRCe > 32$), а також для виготовлення крупногабаритних РІ діаметром більше 80 мм.

Проводяться роботи зі створення та уточнення області доцільного застосування ШРС дисперсійного твердіння типу Р18М7К25, Р18М3К25, Р10М5К25, які представляють собою залізо-кобальтові вольфрамкові сплави. В залежності від марки вони містять: W 10...19 %, Co 20...26 %, Mo 3...7 %, V 0,45...0,55 %, Ti 0,15... 0,3 %, C до 0,06 %, Mn – не більше 0,23 %, Si – не більше 28 %, решта – залізо. На відміну від ШРС, дані сплави зміцнюються внаслідок виділення при відпуску інтерметалідів, мають більш високі теплостійкість (700 – 720 °C) і твердість (68...69 HRCe). Висока теплостійкість у них поєднується із задовільною міцністю, що обумовлює підвищені різальні властивості цих сплавів.

Ці сплави досить дорогі, і тому їх застосування доцільне лише при різанні важкооброблюваних матеріалів.

Дисперсійне твердіння (старіння) – процес розпаду нестабільного пересиченого твердого розчину, отриманого загартуванням, шляхом дифузійного перерозподілу атомів і поступового наближення структури до рівноважного стану. В одних сплавах він починається при кімнатній температурі відразу ж після охолодження і посилюється з часом – природне старіння, в інших сплавах розпад можливий при підвищених температурах – штучне старіння (високотемпературне старіння).

2.2.2 Тверді сплави

В даний час для виробництва РІ широко використовуються тверді сплави (ТС). В основному ТС застосовуються у вигляді пластинок різної форми, отриманих методами порошкової металургії спіканням карбідів вольфраму, титану і танталу, з кобальтом або нікелем і молібденом. Тому вони мають високі твердість та зносостійкість. Порошки карбідів змішують з порошком кобальту. З цієї суміші в спеціальних прес-формах на пресах пресують вироби необхідної форми і потім піддають спіканню при температурі, близькій до температури плавлення кобальту (1500-2000 °С) в печах в середовищі водню або в вакуумі. При спіканні ТС набувають високу твердість, достатню міцність і додаткової ТО не потребують. Розміри частинок твердої (карбідної) фази складають 0,5 – 10 мкм.

РІ, оснащені ТС, добре опираються стиранню східною стружкою і матеріалом заготовки і не втрачають своїх різальних властивостей при температурі нагрівання до 750 – 1100 °С.

Недоліком ТС, в порівнянні зі ШРС, є їх підвищена крихкість, яка зростає зі зменшенням вмісту кобальту у сплаві.

Швидкості різання РІ, оснащеними ТС, в 3-4 рази перевищують швидкості різання РІ зі ШРС.

ТС РІ придатні для обробки загартованих сталей і таких неметалічних матеріалів, як скло, фарфор тощо.

Пластинки ТС кріплять до державки або корпусу напаюванням або механічно за допомогою гвинтів і притискачів.

Разом з цим, у машинобудівній промисловості застосовують малорозмірні, монолітні твердосплавні інструменти, що складаються з ТС. Їх виготовляють із **пластифікованих заготовок**. Як пластифікатор в порошок твердого сплаву вводять парафін (до 7-9 %). Із пластифікованих сплавів пресують прості за формою заготовки, які легко обробляються звичайним РІ. Після механічної обробки заготовки спікають, а потім шліфують і заточують.

Із пластифікованого сплаву заготовки монолітних РІ можуть бути отримані шляхом **мундштучного пресування**. В цьому випадку спресовані ТС брикети поміщають в спеціальний контейнер із ТС профільованим мундштуком. При продавлюванні через отвір мундштука виріб набуває необхідної форми і піддається спіканню. За такою технологією виготовляють дрібні свердла, зенкери, розвертки тощо.

Монолітний ТС РІ може також виготовлятися з **остаточно спечених ТС циліндричних заготовок з подальшим вишліфовуванням профілю алмазними кругами**.

В залежності від хімічного складу металокерамічні ТС, що застосовуються для виробництва РІ, поділяються на чотири основні групи.

Сплави **першої групи** виготовляють на основі карбідів вольфраму і кобальту. Це

однокарбідні вольфрамо-кобальтові сплави групи ВК.

До *другої групи* відносяться сплави, що отримуються на основі карбідів вольфраму і титану та зв'язувального металу – кобальту. Це двокарбідні титано-вольфрамо-кобальтові сплави групи ТК.

Третя група сплавів складається з карбідів вольфраму, титану, танталу і кобальту. Це трикарбідні титано-тантало-вольфрамо-кобальтові сплави групи ТТК.

До *сплавів групи ВК* відносяться сплави: ВК3, ВК4, ВК6, ВК8, ВК10, ВК15. Ці сплави складаються із зерен карбіду вольфраму, зцементованих кобальтом. У марці сплавів цифра показує відсотковий вміст кобальту. Наприклад, сплав ВК8 містить у своєму складі 92 % карбіду вольфраму і 8 % кобальту. Дані сплави застосовуються для обробки чавуну, кольорових металів і неметалічних матеріалів.

При виборі марки ТС враховують вміст кобальту, який зумовлює його міцність. Зі сплавів групи ВК сплави ВК15, ВК10, ВК8 є найбільш в'язкими і міцними, добре протистоять ударам і вібраціям, а сплави ВК2, ВК3 мають найбільш високу зносостійкість при малій в'язкості, слабо опираються ударам і вібраціям.

Сплав ВК8 застосовується для чорнової обробки при нерівномірному перерізі зрізу і переривчастому різанні, а сплав ВК2 – для чистової фінішної обробки при безперервному різанні з рівномірним перерізом зрізу. Для напівчистових робіт і чорнової обробки з відносно рівномірним перерізом шару, що зрізується, застосовуються сплави ВК4, ВК6. Сплави ВК10 і ВК15 знаходять застосування при обробці різанням спеціальних важкооброблюваних сталей.

Різальні властивості та якість ТС РІ визначаються не лише хімічним складом сплаву, але і його структурою, тобто величиною зерна. Зі збільшенням розміру зерен карбіду вольфраму міцність сплаву зростає, а зносостійкість зменшується, і навпаки.

В залежності від розмірів зерен карбідної фази сплави можуть бути *дрібнозернисті*, в яких не менше 50 % зерен карбідних фаз мають розмір приблизно 1 мкм, *середньозернисті* – з величиною зерна 1 – 2 мкм і *крупнозернисті* – в яких розмір зерен коливається від 2 до 5 мкм.

Для позначення дрібнозернистої структури в кінці марки сплаву ставиться літера М, а для крупнозернистої структури – літера К. Літери ОМ вказують на дуже дрібнозернисту структуру сплаву. Літера В після цифри вказує на те, що вироби з ТС спікаються в атмосфері водню.

Твердосплавні вироби одного і того ж хімічного складу можуть мати різну структуру. Отримані дуже дрібнозернисті сплави ВК6ОМ, ВК10М, ВК15ОМ.

Сплав ВК6ОМ дає хороші результати при тонкій обробці жароміцних і нержавіючих сталей, чавунів високої твердості, алюмінієвих сплавів. Сплав ВК10М призначений для чорнової та напівчорнової обробки, а сплав ВК15ОМ – для особливо важких випадків обробки нержавіючих сталей, а також сплавів вольфраму, молібдену, титану і нікелю.

Дрібнозернисті сплави, такі як сплав ВК6М, використовують для чистової обробки при тонких перерізах зрізу сталевих, чавунних, пластмасових та ін. деталей. Із

заготовок дрібнозернистих пластифікованих сплавів ВК6М, ВК10М, ВК15М отримують суцільні РІ. Крупнозернисті сплави ВК4В, ВК8В, міцніші, ніж звичайні сплави, застосовують при різанні з ударами для чорнової обробки жароміцних і нержавіючих сталей з великими перерізами зрізу.

При обробці сталей РІ, оснащеними вольфрамо-кобальтовими сплавами, особливо при підвищених швидкостях різання, відбувається швидке утворення лунки на передній поверхні, що призводить до викришування різальної кромки і порівняно швидкого зношування інструменту.

Для обробки сталевих заготовок застосовують більш зносостійкі тверді сплави групи ТК.

Сплави групи ТК (Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12) складаються із зерен твердого розчину карбіду вольфраму в карбіді титану і надлишкових зерен карбіду вольфраму, зцементованих кобальтом. У марці сплаву цифра після літери К показує відсотковий вміст кобальту, а після літери Т – відсотковий вміст карбідів титану. Так, сплав Т30К4 містить 4% кобальту, 30% карбідів титану, а все інше – карбіди вольфраму.

Літера В в кінці марки означає, що сплав має крупнозернисту структуру.

Сплави Т5К12В і Т5К10 є найбільш в'язкими і міцними і найменш теплостійкими. Тому сплав Т5К12В рекомендується застосовувати при роботі з ударними навантаженнями для обточування сталевих поковок і відливок по кірці, а сплав Т5К10 – для чорнового точіння при нерівномірному перерізі зрізу і переривчастому різанні.

Сплав Т30К4, що містить великий відсоток карбідів титану, характеризується високою теплостійкістю та зносостійкістю, але є найменш міцним і в'язким. Тому його застосовують для чистового точіння при безперервному різанні з малими перерізами зрізу.

Для обробки сталей найбільше застосовується сплав Т15К6, що поєднує достатньо високі теплостійкість та зносостійкість із задовільною міцністю.

Сплави групи ТТК складаються із зерен твердого розчину карбіду титану, карбіду танталу, карбіду вольфраму і надлишкових зерен карбіду вольфраму, зцементованих кобальтом. До них відносяться ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ10К8Б, ТТ20К9.

Сплав ТТ7К12 містить 12 % кобальту, 3 % карбіду танталу, 4 % карбіду титану і 81 % карбіду вольфраму.

Введення до складу сплаву карбідів танталу значно підвищує його міцність, але знижує теплостійкість. Сплав ТТ7К12 рекомендується для важких умов при обточуванні по кірці і роботі з ударами, а також для обробки спеціальних легованих сталей.

Сплав ТТ8К6 застосовують для чистової та напівчистової обробки чавуну, для безперервної обробки з малими перерізами зрізу сталевих литва, високоміцних нержавіючих сталей, сплавів кольорових металів, деяких марок титанових сплавів.

ТС є найбільш перспективним ІМ майже для всіх видів РІ. При конструюванні та

використанні РІ доцільно прагнути застосовувати ТС.

Провідні зарубіжні фірми (Sandvik Coromant) використовують міжнародну систему маркування ТС (ISO) , пов'язуючи її з рекомендаціями по обробці конкретних матеріалів, певними видами обробки, формою пластин і оптимальними режимами різання.

Прийнято наступні позначення:

Р (синій колір) – для обробки сталі;

М (жовтий колір) – для обробки нержавіючої сталі;

К (червоний колір) – для обробки чавуну;

N (зелений колір) – для обробки алюмінію і кольорових металів;

S (коричневий колір) – для обробки жароміцних і титанових сплавів;

Н (сірий колір) – для обробки матеріалів високої твердості.

Поряд з буквою є цифрові позначення: Р01, Р10 ... Р50; перше з яких характеризує найбільшу зносостійкість, останнє – міцність.

Таблиця 2 – Відповідність вітчизняних і зарубіжних марок ТС

Міжнародна класифікація	Вітчизняна класифікація	Міжнародна класифікація	Вітчизняна класифікація
K01	BK2, BK3, BK3M	M30	TT10K8B
K10	TT8K6, BK6M	M40	BKЮOM
K20	BK6, TT8K6	M50	BK150M
K30	BK4, BK6	P01	T30K4
K40	BK8	P10	TT5K6, TT12K8
K50	BK10	P20	T14K8
M01	BK60M	P25	TT20K9
M10	TT10K8A, TT8K6	P30	T5K10
M20	TT10K8B	P40	TT7K12, T5K12B

З метою економії дефіцитного вольфраму розробляються **безвольфрамові металокерамічні ТС** на основі карбідів, а також карбідонітридів перехідних металів, в першу чергу титану, ванадію, ніобію, танталу. Ці сплави виготовляють на нікеле-молібденовій зв'язці. Отримані тверді сплави на основі карбідів титану із вмістом 12 – 19 % нікеле-молібденової зв'язки за своїми характеристиками приблизно рівноцінні стандартним сплавам групи ТК. МНТ (70%Ti C + 16%Ni + 5% Mo) и КНТ (74%TiCN + 19%Ni + 7% Mo).

В даний час промисловістю освоєні безвольфрамові сплави ТН-20, ТМ-3, КНТ-16 та інші. Ці сплави мають високу окислостійкість, низький коефіцієнт тертя, меншу у порівнянні зі сплавами, які містять вольфрам, питому вагу, але мають, як правило,

нижчу міцність, схильність до руйнування при підвищених температурах.

Вивчення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей безвольфрамових ТС показало, що вони успішно можуть бути використані для чистової та напівчистової обробки конструкційних сталей і кольорових сплавів, але значно поступаються сплавам групи ВК при обробці титанових і нержавіючих сталей.

Одним із шляхів підвищення експлуатаційних характеристик ТС є нанесення на різальну частину інструменту тонких зносостійких покриттів на основі нітриду титану, карбіду титану, нітриду молібдену, окислу алюмінію. Товщина шару покриття, що наноситься, коливається від 0,005 до 0,2 мм. Досліди показують, що тонкі зносостійкі покриття призводять до значного зростання стійкості РІ.

2.2.3 Мінералокерамічні матеріали

Мінералокерамічні матеріали (МКМ) для виготовлення РІ стали застосовувати з 50-х років ХХ ст. В СРСР був створений МКМ марки ЦМ-332, що складається в основному з оксиду алюмінію Al_2O_3 з невеликою добавкою (0,5- 1,0 %) оксиду магнію MgO , який перешкоджає зростанню кристалів під час спікання та є хорошим зв'язувальним засобом. Мінералокераміка ЦМ-332 має високу твердість, її теплостійкість досягає $1200^{\circ}C$. Однак вона відрізняється низькою міцністю при згині ($350-400\text{ МН/м}^2$) і великою крихкістю, що призводить до частих викришувань та поломок пластинок при роботі.

Істотним недоліком МК є її надто низький опір циклічній зміні температури. Внаслідок цього, навіть при невеликому числі перерв у роботі, на контактних поверхнях інструменту з'являються мікротріщини, які призводять до його руйнування навіть при невеликих зусиллях різання. Ця обставина обмежує практичне застосування МК РІ.

МКМ виготовляються у формі пластинок і приєднуються до корпусів інструментів механічним шляхом, приклеюванням або припаюванням. МК успішно може застосовуватися для чистового обточування чавуну, сталей, неметалічних матеріалів і кольорових металів з великими швидкостями і обмеженим числом перерв в роботі. Є приклади вдалого застосування МК також і на обдирних операціях. МК РІ доцільно застосовувати лише на верстатах підвищеної жорсткості, що характеризуються безвібраційною роботою.

Останніми роками випускаються нові марки кераміки, які перевершують за своїми різальними і міцнісними властивостями кераміку ЦМ-332. Це *гарячепресована оксидна кераміка ВШ, оксидно-карбідні кераміки ВЗ*, ВОК-60 і ВОК-63. До складу цих керамік, разом з оксидом алюмінію, входять карбіди тугоплавких металів.

МК марки ВШ найефективніше застосовувати для чистового точіння вуглецевих і низьколегованих сталей, а також чавунів із твердістю $HB < 260$. При переривчастому точінні кераміка марки ВШ дає незадовільні результати. В цьому випадку доцільно

використовувати кераміку марки ВЗ. МК марки ВОК-60, ВОК-63 використовуються при фрезеруванні загартованої сталі та високоміцних чавунів.

Новим інструментальним матеріалом, створеним на основі нітриду кремнію, є **сілініт-Р**. Він використовується при чистовому точінні сталей, чавуну, алюмінієвих сплавів.

2.2.4 Абразивні матеріали

Суттєве місце в сучасному виробництві деталей машин займають процеси шліфування, при яких використовуються різні абразивні РІ, різальними елементами яких є тверді та теплостійкі зерна абразивного матеріалу (АМ) з гострими кромками.

АМ поділяються на природні та штучні.

До **природних** АМ відносяться такі **мінерали, як кварц, корунд** тощо. Вони відрізняються великою неоднорідністю, наявністю сторонніх домішок. Тому за якістю абразивних властивостей вони не задовольняють потребам промисловості, що зростають.

В даний час обробка штучними АМ займає провідне місце у машинобудуванні. Найбільш поширеними **штучними АМ є електрокорунд, карбіди кремнію та бору**, полірувально-довідні порошки – **оксиди хрому і заліза**. Особливу групу штучних абразивних матеріалів складають синтетичні алмази і кубічний нітрид бору.

Електрокорунд отримують електричним плавленням матеріалів, багатих оксидом алюмінію, наприклад, із бокситу або глинозему в суміші з відновником (антрацитом або коксом).

Електрокорунд випускається наступних різновидів: нормальний, білий, хромовий, титановий, цирконієвий, монокорунд і сферокорунд.

Електрокорунд нормальний містить 92-95 % оксиду алюмінію та поділяється на декілька марок: 12А, 13А, 14А, 15А, 16А.

Зерна електророкорунду нормального, разом з високими твердістю та механічною міцністю, мають значну в'язкість, необхідну при виконанні робіт із змінними навантаженнями при великому тиску. Тому електрокорунд нормальний застосовують для обробки різних матеріалів підвищеної міцності: вуглецевої та легованої сталей, ковкого і високоміцного чавуну, нікелевих і алюмінієвих сплавів.

Електрокорунд білий марок 22А, 23А, 24А, 25А відрізняється високим вмістом оксиду алюмінію (98-99 %). В порівнянні з електрокорундом нормальним електрокорунд білий твердіший, має підвищену абразивну здатність та крихкість.

Електрокорунд білий може бути використаний для обробки тих же матеріалів, що і електрокорунд нормальний. Однак із-за вищої вартості його застосовують на більш відповідальних роботах для операцій остаточного і профільного шліфування, різешліфування, заточування різального інструменту.

Електрокорунд хромовий марок 32А, 33А, 34А поряд з оксидом алюмінію Al_2O_3 , містить до 2% оксиду хрому Cr_2O_3 . Додаток оксиду хрому змінює його мікроструктуру і будову.

За міцністю електрокорунд хромовий наближається до електрокорунду нормального, а за різальними властивостями – до електрокорунду білого. Тому електрокорунд хромовий рекомендується застосовувати для круглого шліфування виробів із конструкційних і вуглецевих сталей при інтенсивних режимах, де він забезпечує підвищення продуктивності на 20 – 30% в порівнянні з електрокорундом білим.

Електрокорунд титановий марки 37А разом з оксидом алюмінію містить оксид титану TiO_2 . Він відрізняється від електрокорунду нормального великою постійністю властивостей та підвищеною в'язкістю. Це дозволяє використовувати його в умовах важких і нерівномірних навантажень. Електрокорунд титановий застосовується на операціях попереднього шліфування зі збільшеним зніманням металу.

Електрокорунд цирконієвий марки 38А разом з оксидом алюмінію містить оксид цирконію. Він має високу міцність і застосовується в основному для обдирних робіт із великим питомим тиском різання.

Монокорунд марок 43А, 44А, 45А отримується у вигляді зерна, що має підвищену міцність, гострі кромки і вершини з більш вираженою властивістю самозаточування в порівнянні з електрокорундом. Це забезпечує йому підвищені різальні властивості. Монокорунд переважно використовується для шліфування важкооброблюваних сталей і сплавів, для прецизійного шліфування складних профілів і для сухого шліфування РІ.

Сферокорунд містить більше 99 % Al_2O_3 і отримується у вигляді порожнистих сфер. В процесі шліфування сфери руйнуються з утворенням гострих кромки. Сферокорунд доцільно застосовувати при обробці таких матеріалів, як гума, пластмаси, кольорові метали.

Карбід кремнію отримується в результаті взаємодії кремнезему і вуглецю в електричних печах, а потім подрібнення на зерна. Він складається з карбіду кремнію та незначної кількості домішок. Карбід кремнію має велику твердість, що перевищує твердість електрокорунду, високі механічну міцність та різальну здатність.

Найбільше поширені два різновиди карбіду кремнію: **зелений** (КЗ), який має колір від світло-зеленого до темно-зеленого, і **чорний** (КЧ) – зазвичай чорного або темно-синього кольору. Карбід кремнію зелений відрізняється від карбіду кремнію чорного меншою кількістю домішок. Зелений карбід кремнію має більшу твердість, але меншу міцність в порівнянні з чорним карбідом кремнію. Карбід кремнію чорний марок 53С, 54С, 55С застосовують для обробки твердих, крихких і дуже в'язких матеріалів: твердих сплавів, чавуну, скла, кольорових металів, пластмас. Карбід кремнію зелений марок 63С, 64С використовують для заточування твердосплавного інструменту, шліфування кераміки.

Карбід бору B_4C має високі твердість, зносостійкість та абразивну здатність. Разом з тим, карбід бору дуже крихкий, що і визначає його застосування в промисловості у вигляді порошків і паст для доведення ТС РІ, фільтер із ТС, шліфування каменів із штучного рубіну, агату та ін.

АМ характеризуються такими основними властивостями, як форма абразивних зерен, зернистість, твердість, механічна міцність, абразивна здатність зерен.

За формою абразивні зерна можуть бути **ізометричні, пластинчасті та мечеподібні.**

Ізометричні зерна мають округлу симетричну форму, а зерна пластинчасті та мечеподібні мають яскраво виражену несиметричну форму. Основною формою абразивних зерен є ізометрична. Однак при збільшенні кількості ізометричних зерен шліфувальний інструмент вимагає великих зусиль при різанні, він виходить зі щільнішою упаковкою зерен, тобто з меншою пористістю, що погіршує різальну здатність. Тому ізометричну форму абразивних зерен не можна вважати оптимальною у всіх випадках. Ізометричні зерна переважні для інструментів, що працюють при обдирних режимах з важким змінним навантаженням в умовах великого тиску на інструмент. Зерна пластинчасті та мечеподібні, що мають більшу здатність сколювання, самозаточування, доцільні при чистових операціях і обробці важкооброблюваних матеріалів.

Абразивні зерна мають певну заокругленість своїх різальних елементів. Встановлено, що при зменшенні розмірів абразивних зерен відповідно зменшуються як радіуси заокруглень, так і кути при вершині їх різальних елементів. Зменшення розмірів зерен впливає на процес зняття тонких стружок і сприяє отриманню більш чистої обробленої поверхні.

Зерна із електрокорунду мають радіуси заокруглень від 4 до 180 мкм, зерна із карбіду кремнію мають, як правило, менші радіуси заокруглень.

Абразивні матеріали за величиною зерна поділяються на **шліфзерно** (200, 160, 125, 100, 80, 63, 50, 40, 32, 25, 20, 16), **шліфпорошки** (12, 10, 8, 5, 4, 3) і мікрошліфпорошки (М63, М50, М40, М28, М20, М14), **тонкі мікропорошки** (М10, М7, М5, М3, М2, М1).

Зернистість шліфзерна і шліфпорошків визначається розмірами сторін комірок контрольних сит. Наприклад, номер зернистості 16 означає, що зерна цієї зернистості проходять через сито із комірками з розміром сторін 200 мкм і не проходять через сито із комірками з розміром сторін 160 мкм.

Розміри зерен мікрошліфпорошків визначаються за лінійними розмірами зерен в мікрометрах. Так, для мікрошліфпорошка М40 межі розмірів зерен основної фракції рівні 40-28 мкм.

Абразивні порошки однієї й тієї ж зернистості можуть випускатися з різним вмістом основної фракції. В залежності від вмісту основної фракції в позначення порошків після номера вводять одну з літер В, П, Н або Д. Літера В характеризує

порошок із найбільш високим вмістом (60-55 %) основної фракції, а літера Д – із найменшим (42-36 %).

Однорідність зернового складу, що характеризується відсотковим вмістом основної фракції, впливає на шорсткість обробленої поверхні, різальні властивості та стійкість інструменту.

Твердість АМ характеризується опором зерен поверхневому подрібненню, місцевій дії прикладених сил. Вона повинна бути вищою за твердість оброблюваного матеріалу.

Твердість АМ визначають методом дряпання вістря одного тіла по поверхні іншого або методом втискання алмазної піраміди під малим навантаженням в абразивне зерно. За методом дряпання твердішим буде тіло, здатне зробити подряпину на менш твердому тілі. Цей метод недостатньо точний, щоб визначити твердість АМ. Тому безперечний інтерес представляє випробовування мікротвердості абразивів на приладі ПМТ-3. На цьому приладі визначають відношення сили втискання піраміди до площі відбитка. Як показують випробовування, з підвищенням температури мікротвердість АМ знижується.

Механічна міцність характеризується подрібнюваністю зерен під впливом зовнішніх зусиль. Абразивні зерна повинні бути достатньо міцними, щоб витримати без руйнування тиск різання, коли кромки ще достатньо гострі, і допускати відколювання від них шматочків лише тоді, коли кромки в належній мірі затупляться. Оцінку міцності проводять роздавлюванням навісу абразивних зерен у сталевій формі під пресом за допомогою певного статичного навантаження. Показником міцності служить відсоткова вагова кількість зерен, що не просіюються через сито, з якої був взятий навіс. Про міцність поодиноких зерен роблять висновок за величиною навантаження, що руйнує зерно, взятого як середнє із 100 випробовувань.

При обдирних режимах з великим зніманням металу потрібні міцні абразиви, а при чистовому шліфуванні та обробці важкооброблюваних матеріалів переважні абразиви з більшими крихкістю та здатністю до самозаточування.

Абразивна здатність характеризується кількістю матеріалу, зішліфованого випробовуваними зернами за певний проміжок часу. Певну кількість випробовуваних зерен насипають між двома дисками, що обертаються з невеликою швидкістю.

В порядку зниження абразивної здатності та твердості абразивні матеріали розташовують в такій послідовності: карбід бору, карбід кремнію, монокорунд, електрокорунд.

2.2.5 Алмази та інші надтверді матеріали

Алмаз як інструментальний матеріал отримав в останні роки широке застосування в машинобудуванні. В даний час випускається велика кількість різноманітного інструменту з використанням алмазів: шліфувальні круги, інструменти для правки шліфувальних кругів із електрокорунду і карбіду кремнію, пасти і порошки для довідних і притиральних операцій. Значні за розмірами кристали алмазів застосовують для виготовлення алмазних різців, фрез, свердел та інших різальних інструментів. Область застосування алмазного інструменту з кожним роком все більше розширюється.

Алмаз є однією з модифікацій вуглецю кристалічної будови.

Алмаз – найтвердіший зі всіх відомих в природі мінералів. Твердість алмазу вища за твердість карбіду бору в 2,3 рази, карбіду кремнію – у 3 рази. Але він крихкий і дорогий.

Висока твердість алмазу пояснюється своєрідністю його кристалічної будови, міцністю зв'язків атомів вуглецю в кристалічній решітці, розташованих на рівних і дуже малих відстанях один від одного. Однак міцність алмазу невелика, і він легко розколюється по площинах спайності. Тому алмаз використовують для обробки при відносно малих навантаженнях.

Коефіцієнт теплопровідності алмазу в 2 і більше рази вищий, ніж у сплаву ВК8, тому тепло від зони різання відводиться порівняно швидко. Алмаз має досить низький коефіцієнт лінійного розширення і високий модуль пружності. Отже, інструменти з кристалами алмазу мають малі деформації. В результаті можна отримувати деталі високої точності та підтримувати цю точність протягом тривалого часу.

Теплостійкість алмазу характеризується тим, що при температурі приблизно 800°C у звичайних умовах він починає перетворюватися на графіт.

Разом з тим, алмаз має найбільш високу абразивну здатність, але порівняно з іншими АМ. Так, при заточуванні та доведенні твердого сплаву витрати алмазу в 100-400 разів менші, ніж при обробці карбідом кремнію.

Природний алмаз умовно позначають А, а синтетичний – АС.

У природі найчастіше зустрічаються **агрегатні різновиди алмазу: борт, карбонадо і баллас**. Знахідки великих алмазних кристалів рідкісні.

До борту відносяться всі зернисті та неправильні зростки кристалів алмазів, часто без ознак граней і ребер.

До карбонадо відносяться дуже тонкозернисті, щільні або трохи пористі агрегати бурого-чорного кольору. Чорне забарвлення карбонадо обумовлене наявністю в алмазі високодисперсного графіту.

Шліфувальні порошки з природних алмазів випускають однієї марки – А.

Потреби в алмазному інструменті, які зростають, не можуть бути повністю задоволені за рахунок природних алмазів. В даний час освоєне промислове виробництво синтетичних алмазів із графіту при великому тиску і високих

температурах (до 2000 ° С і 30-40 тисяч атмосфер).

Синтетичні алмази можуть бути різних марок, які відрізняються між собою міцністю, крихкістю, питомою поверхнею та формою зерен. В порядку зростання міцності, зниження крихкості та питомої поверхні марки шліфувальних порошків із синтетичних алмазів розташовуються так: АС2, АС4, АС6, АС 15, АС32.

Зерна АС2 з підвищеною крихкістю та розвиненою поверхнею добре утримуються у зв'язці і самозаточуються в процесі роботи. Зони рекомендуються для виготовлення інструментів на органічній зв'язці, а також для паст і порошків.

Зерна АС4 призначені в основному для виготовлення різного інструменту на металевій та керамічній зв'язках.

Зерна АС6 мають гладшу поверхню в порівнянні із зернами АС2 і АС4 і рекомендуються для виготовлення інструменту на металевих зв'язках, що працює при підвищеному питомому тиску.

Зерна АС15 рекомендуються для виготовлення інструменту на твердих металевих зв'язках, що застосовується для обробки природного каменю та інших твердих матеріалів.

Зерна АС32, що мають найбільшу міцність, призначені для правки абразивних кругів, різання та обробки корунду, рубіну та інших особливо твердих матеріалів.

Мікропорошки із природних алмазів мають марки АМ і АН, а із синтетичних – АСМ і АСН.

Мікропорошки марок АМ і АСМ нормальної абразивної здатності призначені для виготовлення абразивного інструменту, яким обробляють тверді сплави та інші тверді і крихкі матеріали, а також деталі зі сталі, чавуну, кольорових металів за необхідності отримання високої чистоти поверхні.

Мікропорошки марок АН і АСН, що мають підвищену абразивну здатність, рекомендуються для обробки надтвердих, крихких, важкооброблюваних матеріалів.

Зернистість алмазних шліфувальних порошків, контрольована ситовим методом, коливається від 630 до 40 мкм, а зернистість мікропорошків, що визначається під мікроскопом, – від 60 до 0 мкм.

Зернистість порошків позначається дробом, чисельник якого відповідає найбільшому, а знаменник – найменшому розміру зерен основної фракції. Вона визначається розмірами сторін комірок двох контрольних сит, через одне з яких зерна повинні проходити, а на іншому – затримуватися. Тому фактично в позначенні зернистості порошку чисельник і знаменник вказують не на найбільший та найменший розміри зерна, а на розміри комірок сит.

З метою підвищення ефективності роботи алмазного абразивного інструменту застосовують алмазні зерна, покриті тонкою металевою плівкою. Як покриття використовують метали з хорошими адгезійними і капілярними властивостями по відношенню до алмазу – мідь, нікель, срібло, титан та їх сплави. Металеве покриття утворює оболонку навколо зерна, яка механічно охоплює зерно і заважає випадати його осколкам, підвищує зчеплення алмазних зерен зі зв'язкою, покращує тепловий

режим роботи інструменту і дозволяє підвищити продуктивність знімання металу.

Руйнівне навантаження після металізації алмазів збільшується в 1,5-2,5 рази, причому зміцнююча дія металізації зростає зі збільшенням розмірів зерен.

Металізація забезпечує можливість орієнтації зерен в магнітному полі при виготовленні інструменту з орієнтованими зернами.

Маса металевого покриття визначається у відсотках від маси початкового алмазного порошку, що приймається за 100 %, і, як правило, складає 25; 50; 75; 100%.

Разом із вдосконаленням способів отримання синтетичних алмазів, ведуться дослідження з розробки інших штучних надтвердих матеріалів.

2.2.6 Синтетичні матеріали

Одним з таких матеріалів є *кубічний нітрид бору (КНБ) – ельбор*. Він має кристалічну решітку, аналогічну решітці алмазу, і складається з двох елементів: бору і азоту. Природного двійника нітрид бору не має.

Ельбор має твердість, близьку до твердості алмазу, таку ж міцність та велику теплостійкість і не втрачає різальних властивостей при нагріванні до 1500-1600 °С.

Абразивні порошки ельбору випускаються двох марок: ЛО і ЛП. Зерна ЛО мають більш розвинену поверхню і меншу міцність, ніж зерна ЛП.

Подібно до зерен синтетичних алмазів, абразивні порошки ельбору мають три групи зернистості: шліфзерно (Л25-Л16), шліфпорошки (Л12-Л4) і мікропорошки (ЛМ40-ЛМ1).

Шліфпорошки з кубічного нітриду бору для зміцнення зерен металізують сплавами: срібло - мідь - титан або мідь - олово - титан, або покривають неметалічною оболонкою, що підвищує міцність зерен на 20-30 %.

На відміну від алмазу в ельборі поєднується висока твердість з високими термостійкістю та хімічною інертністю до заліза. Завдяки цьому ельбор досить ефективний при шліфуванні деталей із загартованих до високої твердості сталей. В цьому випадку він, в порівнянні з іншими абразивними інструментами, має низькі питомі витрати, підвищені та стабільні різальні властивості.

Інструмент з ельбору, маючи винятково високу зносостійкість, досить довго зберігає заданий профіль без правки. Тому ельборовий інструмент дуже ефективний при обробці точних фасонних поверхонь, малих отворів, де зношування інструменту визначає задану геометричну точність.

Ельбор рекомендується для виготовлення абразивних кругів, призначених для заточування та доведення різального інструменту зі швидкорізальної сталі.

До нового виду інструментальних матеріалів належать надтверді *полікристали на основі алмазу і кубічного нітриду бору*.

Діаметр заготовок із надтвердих полікристалів знаходиться в межах 4 – 8 мм, а висота – 3 – 4 мм. Такі розміри заготовок, а також сукупність фізичних, механічних

властивостей дозволяють з успіхом використовувати дані матеріали як матеріал для виготовлення різальної частини таких інструментів, як різці, торцеві фрези тощо.

Полікристалічні синтетичні алмази типу балас (АСБ) і карбонадо (АСПК) вперше у світовій практиці були синтезовані в Інституті фізики високого тиску АН СРСР.

Синтетичні баласи і карбонадо є міцно зцементованою масою достатньо досконалих дрібних кристалів. Особливості полікристалічної структури забезпечують баласам і карбонадо ізотропність фізико-механічних властивостей, зокрема, по шліфуємості, ударній в'язкості, міцності на згин і мікротвердості.

Працездатність АСБ і АСПК знаходиться на рівні працездатності природних алмазів, а у багатьох випадках і перевищує її.

Надтверді полікристали на основі алмазу особливо ефективні при різанні таких матеріалів, як склопластики, кольорові метали та їх сплави, титанові сплави.

Однією з областей застосування даних матеріалів є виготовлення абразивних інструментів із крупнозернистих порошків, що отримуються подрібненням надтвердих полікристалів. У ряді випадків такі інструменти успішно замінюють твердосплавні. Так, наприклад, шліфувальні круги на основі крупнозернистих порошків із роздроблених полікристалів АСБ дозволяють ефективно обробляти на фрезерних верстатах жароміцні та титанові сплави і підвищувати таким чином продуктивність праці у багато разів в порівнянні з фрезеруванням твердосплавним інструментом.

Вітчизняна промисловість випускає гаму **надтвердих синтетичних матеріалів на основі нітриду бору, об'єднаних загальною назвою «композити»**. Найбільш широке застосування знайшли композит 01 (ельбор-Р), композит 10 (гексаніт-Р) і композит 05. У менших обсягах випускаються також композит 02 (белбор), 03 (ісміт) і 09 (ПТНБ).

Випробовування показали, що різці із композитів 01, 02, 03 за експлуатаційними властивостями практично не відрізняються один від одного. Вони застосовуються при безперервній тонкій та чистовій обробці загартованих сталей, високоміцних чавунів і деяких важкооброблюваних сплавів.

Значне розповсюдження даних композитів пояснюється рядом властивих їм унікальних властивостей: твердістю, що наближається до твердості алмазу, високою теплопровідністю, хімічною інертністю до заліза. Однак вони мають підвищену крихкість, що робить неможливим їх застосування в умовах ударних навантажень.

Стійкіші до удару інструменти із композитів 09 і 10. Вони виявляються ефективними при обробці з важкими режимами і ударними навантаженнями загартованих сталей і чавунів.

Застосування надтвердих синтетичних матеріалів істотно впливає на технологію машинобудування, відкриваючи перспективу заміни у багатьох випадках шліфування точінням і фрезеруванням.

Перспективним видом ІМ є **двошарові пластини** круглої, квадратної, тригранної або шестигранної форм. Верхній шар пластин складається з

полікристалічного алмазу, а нижній - із твердого сплаву або металевої підкладки. Освоєне виробництво таких пластин із найбільшим діаметром описаного кола, рівним 14 мм, тобто розміри таких пластин близькі до твердосплавних. Тому пластини можна застосовувати для інструментів із механічним кріпленням в державці. Металева підкладка дозволяє також кріпити пластини до державки за допомогою паяння. Відносно невелика товщина алмазоносного шару, рівна 0,5-1,5 мм, значно полегшує переточування таких інструментів.

Ведуться розробки ІМ на основі композицій, що містять алмаз, нітриди, карбіди і тверді оксиди. Так, сплав силініт-Р на основі нітриду кремнію з добавками окису алюмінію та титану займає проміжне положення між твердими сплавами на основі карбіду і надтвердими матеріалами на основі алмазу і нітриду бору. Як показали дослідження, він може застосовуватися при чистовому точінні сталей, чавуну, сплавів алюмінію та титану. Перевага цього сплаву полягає і в тому, що нітрид кремнію ніколи не стане дефіцитним.

2.3 Сталі для виготовлення корпусів інструментів

У збірного РІ корпуси і елементи кріплення виготовляються з конструкційних сталей марок: 45, 50, 60, 40Х, 45Х, У7, У8, 9ХС та ін.

Найбільше поширення отримала сталь 45, з якої виготовляють державки різців, хвостовики свердел, зенкерів, розверток, мітчиків, корпуси збірних фрез, розточувальні оправки.

Для виготовлення корпусів РІ, що працюють в тяжких умовах, застосовують сталь 40Х. Вона після загартовування в маслі і відпуску забезпечує збереження точності пазів, в які вставляються ножі.

У тому випадку, коли окремі частини корпусу РІ працюють на знос, вибір марки сталі визначається міркуваннями отримання високої твердості в місцях тертя (твердосплавні свердла та зенкери, в яких напрямні стрічки в процесі роботи стикаються з поверхнею обробленого отвору і швидко зношуються). Для корпусу подібних РІ застосовують ВІС, а також леговану інструментальну сталь 9ХС.

Корпуси алмазних кругів можуть виготовлятися з алюмінієвих сплавів, а також алюмобакелітового прес-порошку і кераміки.