

УДК 37.091.33 : 669.134

**МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИВЧЕННЯ УЧНЯМИ 10 КЛАСУ ТЕМИ  
"ТВЕРДІ СПЛАВИ ТА АБРАЗИВНІ МАТЕРІАЛИ" В ПРОЦЕСІ  
ПРОФІЛЬНОГО НАВЧАННЯ ЗА СПЕЦІАЛІЗАЦІЄЮ  
"МЕТАЛООБРОБКА".**

**Стець Артем, Ткачук Андрій**

*Центральноукраїнський державний університет імені Володимира Винниченка,  
м. Кропивницький, Україна*

*В статті розглянуто нові підходи до формування в учнів 10 класу уявлень з розділу "Машинобудівні матеріали. Metали та сплави" при профільному вивченні "Технологій" за спеціалізацією "Металообробка". Визначено теоретичні та практичні основи подачі навчального матеріалу з питань класифікації і властивостей сучасних твердих сплавів та абразивних матеріалів, їх маркування і застосування в металообробній галузі.*

*Ключові слова: технологічна освіта, профільне навчання, металообробка, машинобудівні матеріали.*

**METHODOLOGICAL FEATURES OF STUDYING THEME "HARD ALLOYS AND  
ABRASIVE MATERIALS" BY STUDENTS OF 10 CLASSES IN THE PROCESS OF  
PROFILE TRAINING FOR SPECIALIZATION "METALWORKING"**

**A. Stec, A. Tkachuk**

*Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State University, Kropyvnytsky, Ukraine*

**Abstract.** *The article discusses new approaches to the formation of 10th grade students' ideas from the section "Machine-Building Materials. Metals and alloys" during the profile study of "Technologies" with the specialization "Metalworking". The theoretical and practical foundations of the presentation of educational material on classification and properties of modern hard alloys and abrasive materials, their marking and application in the metalworking industry have been defined.*

**Key words:** *technological education, profile training, metalworking; machine building materials.*

**Постановка проблеми.** Необхідність профільного вивчення учнями 10 класу машинобудівних матеріалів, металів та сплавів, при опрацюванні тем першого розділу за спеціалізацією "Металообробка" обумовлена важливістю формування у старшокласників ключових і предметної компетентностей з проектно-технологічної діяльності, загальноотрудових і спеціальних знань та умінь з металообробки, розвитку інтересів і нахилів до необхідних на ринку праці професій металообробного виробництва. Розробка, створення нових матеріалів і способів їх обробки є основою сучасного виробництва та багато в чому визначає науково-технічний і економічний потенціал держави. Швидкий розвиток науки, техніки і промислового виробництва спонукає педагогів глибше

та новаційно проводити навчання учнів. Старшокласники, як майбутні кваліфіковані робітники машинобудівної галузі, повинні знати характеристики оброблюваних матеріалів, залежність їх властивостей від внутрішньої будови речовини та від технологій обробки [9].

Однією з важливих тем 1-го розділу "Машинобудівні матеріали. Metали та сплави" є тема "Тверді сплави, абразивні матеріали та нові види машинобудівних матеріалів", що спрямована на профільне вивчення учнями 10 класу понять про тверді сплави, способи виготовлення твердих сплавів та нових видів машинобудівних матеріалів, класифікацію твердих сплавів і нових видів конструкційних матеріалів, їх маркірування, застосування твердих сплавів, уявлення про новітні способи виробництва твердих сплавів, абразивні матеріали, способи виготовлення абразивних матеріалів та їх застосування в металообробній галузі [9]. Проте, вивченню останніх приділено не достатньо уваги.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Аналіз науково-педагогічної літератури показав, що проблемами вивчення машинобудівних матеріалів, металів та сплавів, займалися багато науковців: Афанасьєва О.В. [1]; Афтандіянц Є.Г., Зазимко О.В. [2]; Боброва Т.Б. [3]; Власенко А.М. [4]; Говорун Т.П., Гапонова О.П. [5]; Драгієва Л.В. [6]; Кисла Г.П. [7]; Бузило В.І. [8]; Прокопович І.В. [10]. Проте, проблема удосконалення методичного забезпечення засвоєння матеріалу з основ матеріалознавства в сучасному машинобудуванні учнями 10 класу при профільному вивченні "Технологій" розроблена не достатньо.

**Метою статті** є висвітлення нових компонентів навчально-методичного забезпечення засвоєння матеріалу з теми "Тверді сплави та абразивні матеріали" учнями 10 класу при профільному вивченні "Технологій" за спеціалізацією "Металообробка".

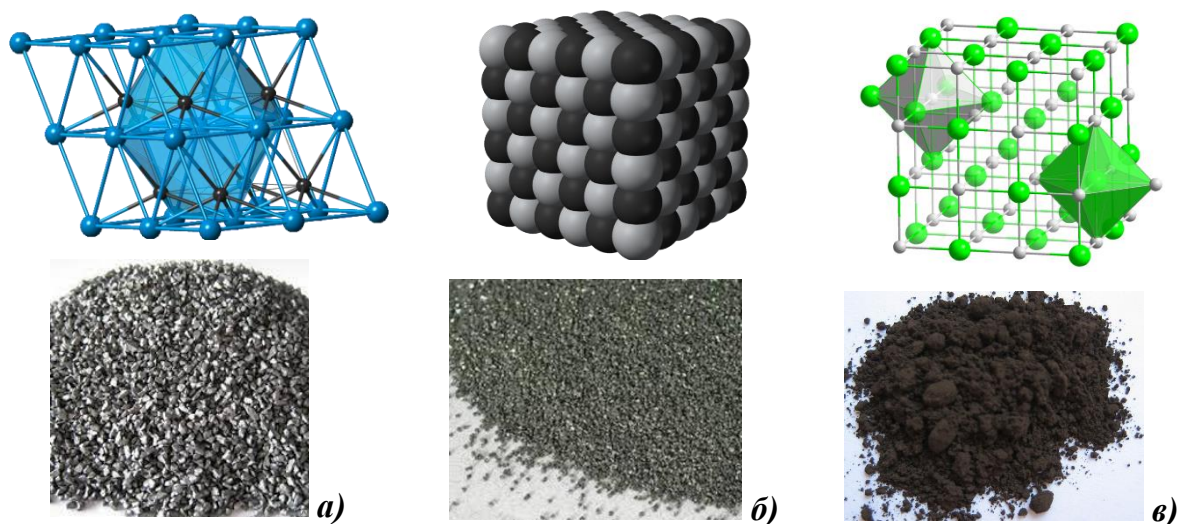
**Методи дослідження:** вивчення, порівняльний аналіз, узагальнення, систематизація науково-методичної та науково-практичної літератури з теми дослідження; системний і проблемно-пошуковий методи для обґрунтування шляхів удосконалення процесу вивчення машинобудівного матеріалознавства.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Формування і розвиток в учнів старшої школи уявлень про тверді сплави та абразивні матеріали в

металообробній галузі при профільному вивченні "Технологій" в умовах дистанційного навчання відбувається, в першу чергу, під час комбінованого он-лайн уроку на тему "Тверді сплави, абразивні матеріали та нові види машинобудівних матеріалів". Під час дистанційного профільного навчання при висвітленні питань про сучасне машинобудівне матеріалознавство, коли освітній процес реалізується не тільки за рахунок проведення уроків в форматі он-лайн відео-конференцій доступних Інтернет ресурсів (Zoom, Google Meet, Skype) а й з використанням освітніх платформ і онлайн-порталів (MOODLE, WIKI, "На Урок"), для підвищення ефективності засвоєння навчального матеріалу повинні широко застосовуватись мультимедійні технології, в першу чергу мультимедійні доповіді-презентації, які є потужним інструментом, що допомагає вчителю доносити інформацію найбільш наочними та ефективними способами. Навчальні презентації використовуються для індивідуального та групового перегляду при використанні мультимедіа або на персональному комп'ютері чи ін. повноціннокранних гаджетах (смартфонах, планшетах) [11]. Використання мультимедійних засобів, з правильно підбраною інформацією з основ машинобудівного матеріалознавства, правильно підібраний джерельний матеріал повноцінно дозволяє вчителю сформувані відповідні компоненти (діяльнісний, знаннєвий та ціннісний) предметної компетентності по даній темі.

Для викладу навчального матеріалу по Розділу 1 "Машинобудівні матеріали. Metали та сплави", нами розроблено систему навчально-методичних засобів, однією з основних складових якої є ряд мультимедійних доповідей-презентацій ("Metали та сплави", "Чорні метали і сплави", "Кольорові метали і сплави", "Тверді сплави та абразивні матеріали", "Способи покращення властивостей металів") для більш наглядного та повноцінного опрацювання учнями 10 класу питань про різні види сучасних металевих машинобудівних матеріалів, що використовуються для металообробного виробництва. Так, в доповіді-презентації "Тверді сплави та абразивні матеріали" говориться про те, що *твердими* називають *сплави*, виготовлені з порошків карбідів вольфраму ( $WC$ ), титану ( $TiC$ ) чи танталу ( $TaC$ ) на кобальтовій зв'язці (рис. 1). Самі твердосплавні пластинки необхідної форми й розмірів виготовляють, пресуючи

і спікаючи у вакуумі або в атмосфері водню при температурах 1350-1550 °С. Під час спікання кобальт, а також евтектика на його основі розплавляються, а під час кристалізації й подальшого охолодження міцно з'єднуються з карбідами. Названі вище карбіди дуже тверді й мають підвищену крихкість. Найтвердішим серед них є карбід титану, найменш твердим – карбід танталу. Змінюючи співвідношення між масовими частками карбідів і зв'язки, можна регулювати твердість сплаву й інші його властивості. Зі збільшенням масової частки кобальту зростає міцність і зменшується твердість сплаву. Збільшення розмірів зерен карбідів є причиною зменшення міцності й росту стійкості сплаву. Тверді сплави для різальних інструментів характеризуються дуже високою твердістю (86-92 HRA або умовно 74-78 HRC) і теплостійкістю в інтервалі температур



**Рис. 1. Кристалічна будова та зовнішній вигляд порошків: а – карбіду вольфраму (WC); б – карбіду титану (TiC); в – карбіду танталу (TaC) [8].**

750-900 °С. Водночас вони мають задовільну міцність на стиск і порівняно невелику міцність на згин. Завдяки високій теплостійкості та зносостійкості тверді сплави посідають провідне місце серед *інструментальних матеріалів*: інструментами, оснащеними твердосплавними пластинками, знімають близько 70 % сумарної маси стружки.

При профільному опрацюванні даного матеріалу учням слід наголосити, що *залежно від хімічного складу тверді сплави поділяють на 3 групи* (рис. 2): 1) *однокарбідні вольфрамові (ВК)*; 2) *двокарбідні титановольфрамові (ТК)*; 3) *трикарбідні титанотанталовольфрамові (ТТК)*. ВК складаються із карбіду вольфраму й кобальту. Вони міцніші та в'язкіші порівняно з

титановольфрамовими сплавами, теплостійкі до 850°C, проте схильні до поступового адгезійного руйнування під час обробки конструкційних сталей, їх застосовують переважно для різання крихких матеріалів – сплавів кольорових металів, загартованих сталей і неметалевих матеріалів. Марки однокарбідних вольфрамових сплавів позначають літерами **ВК** і цифрами, які стоять після літери **К** й відповідають масовій частці кобальту в % (**ВК3, ВК4, ВК6, ВК8**) (рис. 3). Наприклад, сплав **ВК3** містить 3% кобальту та 97% карбіду вольфраму. За однакового хімічного складу помітно впливають на твердість сплаву розміри зерен карбідів, що змінюються від 0,5 до 10 мкм. Зі зменшенням їх розмірів твердість сплаву зростає. Літерою **В**, поставленою через дефіс наприкінці марки, позначають сплав грубозернистий (**ВК6-В, ВК8-В**), літерою **М** – дрібнозернистий (**ВК3-М, ВК6-М**), а літерами **ОМ** – особливо дрібнозернистий (**ВК6-ОМ**). В особливо дрібнозернистих сплавах розміри зерен карбідів близькі до 1 мкм. Перспективними вважають особливо дрібнозернисті модифікації твердих сплавів з розмірами зерен, меншими за 1 мкм [2; 8; 10].

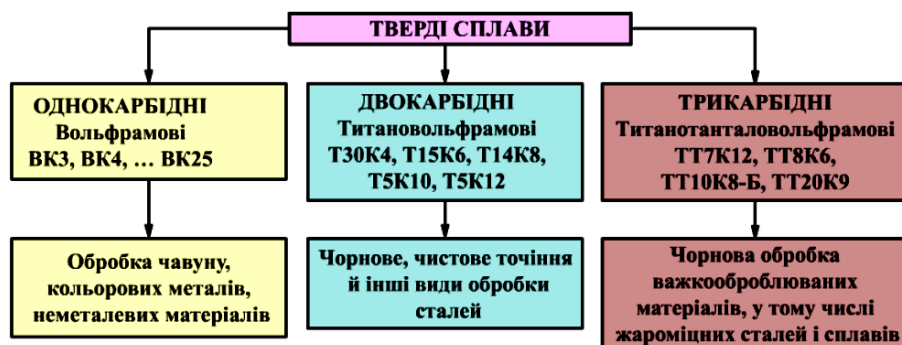


Рис. 2. Класифікація твердих сплавів [5]

**ТК** складаються із карбіду титану, карбіду вольфраму й кобальту. З-поміж твердих сплавів вони найтвердіші (до 92 HRA), найбільш теплостійкі (до 900 °C), мають високу зносостійкість. З огляду на підвищену крихкість вони погано витримують змінні й ударні навантаження і застосовуються переважно для обробки вуглецевих і легованих сталей. Марки: **Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10** і **Т5К12**. Цифра після літери **Т** означає масову частку у % карбіду титану, після літери **К** – масову частку у відсотках кобальту, решта – карбід вольфраму (рис. 4). Найвищу для титановольфрамових сплавів зносостійкість і найбільшу допустиму швидкість різання має сплав **Т30К4**. Водночас його міцність на згин найнижча ( $\sigma_{32}=980$  МПа). Сплав **Т5К10** найменш зносостійкий, але найміцніший

( $\sigma_{32}=1420$  МПа) [2; 8; 10].

**ТТК** містять карбіди титану, танталу й вольфраму та кобальт. Вони найпластичніші серед твердих сплавів, проте найменш тверді й теплостійкі. Карбід танталу хоча й коштовний, проте запобігає ростові зерен інших карбідів і підвищує міцність інструменту. Їх використовують переважно для чорнового різання важкооброблюваних сталей, зокрема жароміцних. Марки **ТТ7К12** ( $TiC + TaC - 7\%$ ,  $Co - 12\%$ ,  $WC - 81\%$ ), **ТТ8К6**, **ТТ10К8-Б**, **ТТ20К9** (рис. 5). Через високу вартість твердих сплавів їх застосовують для різальних інструментів у вигляді пластинок, які припаюють або кріплять механічно до сталевого корпусу інструмента. Зараз спостерігається тенденція переходу від різального інструмента з припаяними пластинками до інструмента з непереточуваними

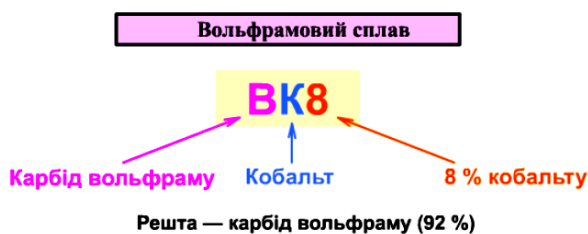


Рис. 3. Приклад маркування ВК [5]



Рис. 4. Приклад маркування ТК [5]



Рис. 5. Приклад маркування ТТК [5]

багатолезовими пластинками, механічно закріпленими (рис. 6). Для того щоб підвищити стійкість, на робочу поверхню твердосплавних пластинок, а також на інструменти з швидкорізальних сталей наносять зносостійкі покриття з карбідів титану, нітридів титану або карбонітридів титану завтовшки 4-8 мкм. Завдяки цьому стійкість інструмента зростає у 1,5-2,5 рази (рис. 7).



*Рис. 6. Твердосплавні вироби: а – пластини; б – фрези [8]*

*Рис. 7. Твердосплавні пластини із зносостійким покриттям [8]*

Для розгляду *абразивних матеріалів* учням слід зазначити, що це зернисті й порошкоподібні речовини високої твердості, зносо- й теплостійкості, які використовуються для виготовлення абразивних інструментів, а також у вільному стані для полірування й різних видів фінішної обробки. Ці види робіт виконуються абразивним порошком у вільному стані, абразивним інструментом (круги, сегменти, бруски, шкурка), у якому абразивні зерна з'єднані зв'язкою (органічною, керамічною, металічною) і пастами, до складу яких окрім абразивного порошку входять мастильні речовини. *Абразивні матеріали* поділяють на *природні* (алмаз, корунд, наждак, креміль) і *штучні* (електрокорунд, карбід кремнію, карбід бору, кубічний нітрид бору, синтетичні алмази) (рис. 8). *Абразивна здатність абразивів*, яка оцінюється масою ошліфованого еталонного матеріалу – скла при однаковій витраті абразиву, – приблизно пропорційна твердості (табл. 1). Таким чином, за абразивністю алмаз значно перевершує інші абразивні матеріали. Якість абразивних матеріалів визначається формою і величиною зерен, твердістю й іншими фізико-механічними властивостями. *Форма зерен* характеризується співвідношенням між *довжиною l*, *висотою h* і *шириною b*. Абразивні зерна, у яких усі три виміри є близькими до рівності чи є рівними, називаються *ізотермічними*, чи *нормальними*. Такі зерна мають велику міцність. Якщо *довжина l* перевищує *висоту h*, то зерна називають *пластичними*, при значному перевищенні *довжини l* над *висотою h* – *мечоподібними*. Абразивні зерна мають закруглені вершини з радіусом округлення від 3 до 30 мкм. Для підготовки абразивного матеріалу його великі шматки подрібнюють у дробарках, очищують від сторонніх домішок, піддають хімічній і термічній обробці і сортують за розмірами. *Зернистість* характеризує величину зерен, їх лінійний розмір. *Природні абразиви* застосовуються обмежено через їх неоднорідність і

недостатню стабільність експлуатаційних властивостей або через дефіцитність (наприклад, алмазу) [2; 8; 10].

Для виготовлення абразивних інструментів використовують переважно *штучні абразивні матеріали*, найтвердішим серед яких є синтетичний алмаз. Якщо мікротвердість алмазу прийняти за 100 %, то мікротвердість кубічного нітриду бору становитиме 90 %, карбіду бору – 40 %, карбіду кремнію – 35 %, електрокорунду – 25 %. Завдяки високій твердості, значній однорідності складу і властивостей штучні абразивні матеріали є основними напівфабрикатами для виготовлення різних видів абразивних інструментів [2; 8; 10].

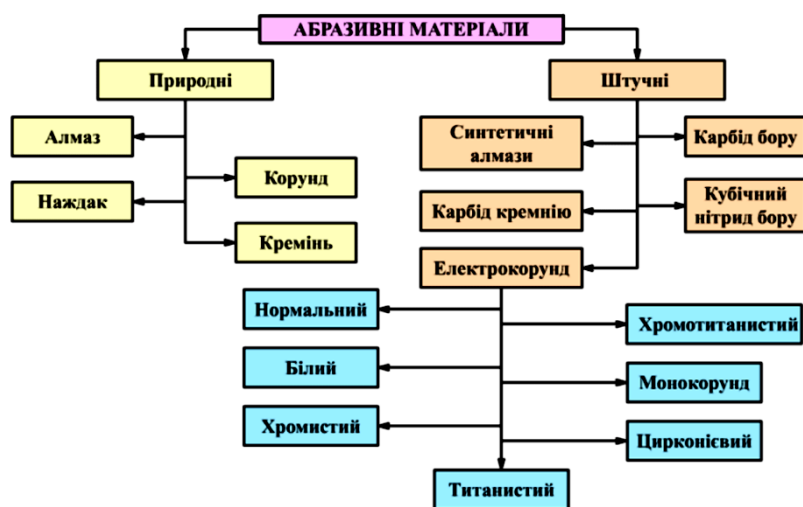


Рис. 8. Класифікація абразивних матеріалів [5]



Рис. 9. Алмазометалеві олівці для правки шліфувальних кругів [8]

Таблиця 1

Відносна абразивна здатність абразивних матеріалів [5]

Матеріал	Абразивна здатність	Твердість, HV
Алмаз	1,0	10 000
Кубічний нітрид бору	0,58—0,60	9250
Карбід бору	0,50—0,60	4200
Карбід кремнію	0,25—0,45	3500
Монокорунд	0,15—0,25	2300
Електрокорунд	0,14—0,16	2000

*Електрокорунд* переважно складається з кристалічного оксиду алюмінію  $Al_2O_3$ . В окремих випадках туди вводять легуючі речовини у вигляді оксиду хрому  $Cr_2O_3$ , оксиду титану  $TiO_2$  або оксиду цирконію  $ZrO_2$ . Що більше в електрокорунді міститься оксиду алюмінію, а також легуючих речовин, то різальні властивості його вищі. Електрокорунд характеризується достатньою твердістю, підвищеною міцністю й певною пластичністю. Його застосовують



для шліфування міцних матеріалів, серед яких є вуглецеві й легovanі сталі в загартованому й незагартованому вигляді, ковкі чавуни й бронзи. Існує декілька **різновидів електрокорунду**: 1) нормальний (95-98 %  $Al_2O_3$ ) марок **14A** і **13A**; 2) білий марки **25A**, що містить 98-99 %  $Al_2O_3$  й невелику кількість домішок; 3) моно-корунд, що складається з гострих однокристалічних зерен  $Al_2O_3$ ; 4) хромистий, у якому оксид хрому розчинений в  $Al_2O_3$ ; 5) титанистий; 6) хромотитанистий; 7) цирконієвий (рис. 10) [2; 8; 10].

**Карбід кремнію  $SiC$**  порівняно з електрокорундом твердіший і крихкіший, а його зерна гостріші. Залежно від умісту домішок та їх складу розрізняють чорний і зелений карбід кремнію. **Чорний карбід кремнію** марок **54C** і **53C** містить не менше як 95 %  $SiC$ . Його застосовують для обробки матеріалів з невеликою міцністю (тверді сплави, чавун, сплави кольорових металів). **Зелений карбід кремнію** марок **64C** і **63C** має 96-99 %  $SiC$ . Він твердіший від чорного карбиду кремнію й використовується для загострювання інструментів переважно з твердих сплавів і для обробки виробів з каменю й кераміки (рис. 11).



*a*



*б*



*a*



*б*

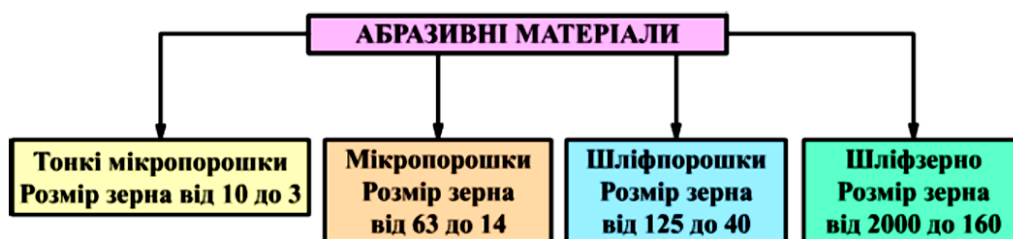
**Рис. 2.10. Електрокорунд: а – нормальний 14A; б – білий 25A [8]**

**Рис. 2.11. Карбід кремнію: а – зелений 63C; б – чорний 54C [8]**

**Маркувальні позначення** абразивних матеріалів складаються з цифрових і літерних елементів: **12A - 18A** – електрокорунд нормальний; **22A - 25A** – електрокорунд білий; **32A - 34A** – електрокорунд хромистий; **37A** – електрокорунд титанистий; **38A** – електрокорунд цирконієвий; **43A - 45A** – монокорунд; **53C** – карбід кремнію чорний; **63C, 64C** – карбід кремнію зелений.

**Зернистість** – умовне позначення, що відповідає розмірам абразивних

зерен і абразивних порошків основної фракції. Згідно зі стандартом, усі абразивні матеріали (за винятком алмазів і кубічного нітриду бору) поділяють на 4 групи залежно від розміру зерен (мкм) (рис. 12). Зернистість шліфзерен і шліфпорошків позначають як 0,1 від розміру сторони комірки сита у світлі (мкм), на якому затримуються зерна основної фракції під час їх просіювання. Зернистість мікропорошків позначають літерою *M* і цифрою, що показує максимальний розмір зерен основної фракції (мкм). Наприклад, мікропорошок з розміром зерен основної фракції 14-10 мкм позначають як *M14*. Мікропорошки поділяють на фракції, осаджуючи їх з гідропульпи. Розміри мікропорошків визначають лінійним вимірюванням. Існують такі *позначення зернистості*: 1) для шліфзерен – 200, 160, 125, 100, 80, 63, 50, 40, 32, 25, 20, 16; 2) для шліфпорошків – 12, 10, 8, 6, 5, 4; 3) для мікропорошків – *M63, M50, M40, M28, M20, M14*; 4) для тонких мікропорошків – *M10, M7, M5*. Вибір зернистості інструмента залежить від припуску на обробку, мікрогеометрії та точності обробленої поверхні. Грубозернисті інструменти призначені для зрізання стружки значних розмірів, проте вони залишають на утвореній поверхні грубі сліди обробки. Дрібнозернисті інструменти зрізають тонку стружку, вони малопродуктивні, проте забезпечують високу якість і точність обробленої поверхні. *З абразивних матеріалів виготовляють* різноманітний різальний інструмент, абразивні порошки і пасти [2; 8; 10].



*Рис. 12. Класифікація абразивних матеріалів за розміром зерна [5]*

**Висновки.** Отже, процес формування та засвоєння в учнів старшої школи знань з питань класифікації і властивостей сучасних твердих сплавів та абразивних матеріалів, їх маркування і застосування в металообробній галузі має бути нерозривно пов'язаним з профільним вивченням "Технологій" за спеціалізацією "Металообробка" в закладах загальної середньої освіти, так як забезпечення знань з основ сучасного машинобудівного матеріалознавства

загалом є однією з найважливіших умов підвищення якості майбутній працівників в металообробній галузі.

**Перспективи подальших пошуків у напрямі дослідження пов'язані з розробкою та удосконаленням методичного забезпечення засвоєння матеріалу з питань способів покращення властивостей металів.**

#### **Список використаної літератури**

1. Афанасьєва О.В. Матеріалознавство та конструкційні матеріали. Навч. посібник. Харків: ХНУРЕ, 2016. 188 с.
2. Афтанділянц Є.Г., Зазимко О.В., Лонатько К.Г. Матеріалознавство: Підручник. Херсон: Олді-плюс, Київ: Видавництво Ліра-К, 2020. 612 с.
3. Боброва Т.Б. Основи матеріалознавства. Навчальний посібник. 2019. Київ, 2019. 104 с.
4. Власенко А.М. Матеріалознавство та технологія металів : підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти. Київ : Літера ЛТД, 2019. 224 с.
5. Говорун Т.П., Гапонова О.П., Марченко С.В. Матеріалознавство та технологія матеріалів (у схемах і завданнях) : навч. посіб. С. : Сумський державний університет, 2020. 163 с.
6. Драгієва Л.В. Методика навчання матеріалознавству та технологій матеріалів студентів ВНЗ. *Наука онлайн: Міжнародний електронний науковий журнал*, 2018. №6. URL: <https://nauka-online.com/ua/publications/pedagogika/2018/6/metodika-navchannya-materialoznavstvu-ta-tehnologij-materialiv-studentiv-vnz/>
7. Кисла Г.П., Лобода П.І., Федорчук В.Є. Матеріалознавство тугоплавких металів та сполук : навч. посіб. К. : Центр учбової літератури, 2017. 320 с.
8. Матеріалознавство : навч. посіб. / В.І. Бузило, В.П. Сердюк, А.В. Яворський, О.А. Гайдай. Дніпро : НТУ "ДП", 2021. 243 с.
9. Навчальна програма закладів загальної середньої освіти "Технології 10-11 класи. Профільний рівень. Спец. "Металообробка". МОНУ, 2017. 26 с.
10. Прокопович І.В. Металознавство : навчальний посібник. Одеса : Екологія, 2020. 308 с.
11. Царенко О.М. Методологічні аспекти використання мультимедійних засобів у навчальному процесі. *Науковий вісник Льотної академії*. 2017. Вип. 1. С. 213-217.