

Лекція

ЗАСТОСУВАННЯ ЗОТС І СУХЕ ВИСОКОШВИДКІСНЕ РІЗАННЯ

1. Мінімізація подачі ЗОТС у зону різання

Зі збільшенням швидкості різання збільшується робота зовнішнього тертя і відповідно кількість тепла в зоні контакту круга з деталлю, у той же час при високошвидкісному різанні, особливо при шліфуванні, збільшується інтенсивність відцентрових і вихрових повітряних потоків, що перешкоджають проникненню ЗОТС у зону обробки. В результаті, наприклад, процес шліфування йде майже сухим, при високих контактних температурах, що призводить до утворення припалів на обробленій поверхні, більшого зносу круга за рахунок «теплових ударів» та інших негативних явищ. У зв'язку з цим роль ЗОТС при високошвидкісному шліфуванні значно більша, ніж при роботі зі звичайними швидкостями різання. Проблема підвищення ефективності дії ЗОТС розв'язується у двох напрямках: розробка засобів подачі їх безпосередньо в зону шліфування і раціональних складів ЗОТС для активізації їх корисного фізико-хімічного впливу на процес шліфування.

Існує багато різноманітних методів подачі ЗОТС у зону обробки при високошвидкісному шліфуванні. Найбільш простим і дешевим засобом є конструкції сопел, що дозволяють відсикати повітряний потік навколо круга і направляти струмінь рідини в зону контакту круга з деталлю. Одна з різновидів таких конструкцій показана на рис.1. Потік повітря навколо круга відсікається клапаном А, створюючи в порожнині Б сопла розріджений простір. У цю порожнину спрямовується струмінь рідини, розганяється, створюючи при виході сопла певний тиск, і виходить у зону різання через пори кола, як це показано на рисунку, і через зазор між переднім козирком сопла і поверхнею круга. У міру зносу кола клапан А розкривається більше, збільшуючи подачу рідини. Ширина сопла повинна перекривати ширину (висоту) круга й охоплювати його по торцевих поверхнях. Описаний засіб може бути застосований при подачі ЗОТС поливом (без високого тиску); він не потребує великої

витрати і тонкого очищення рідини і не викликає сильного розбризкування при частоті обертання круга до 60–80 м/с. Для більш інтенсивного охолодження деталі рекомендується подавати на неї частину рідини через інше допоміжне сопло.

Один з напрямків рішення цього завдання полягає в забезпеченні надходження в зону різання достатньої кількості змащувально-охолоджувальних середовищ, наприклад, через пори шліфувального круга (рис. 2). ЗОТС через приймальні камери, а потім – через передавальні канали підводиться до підшару пористої керамічної зв'язки і потім під дією відцентрових сил через пори алмазозосного прошарку надходить прямо в зону контакту робочої поверхні круга й оброблюваного матеріалу.

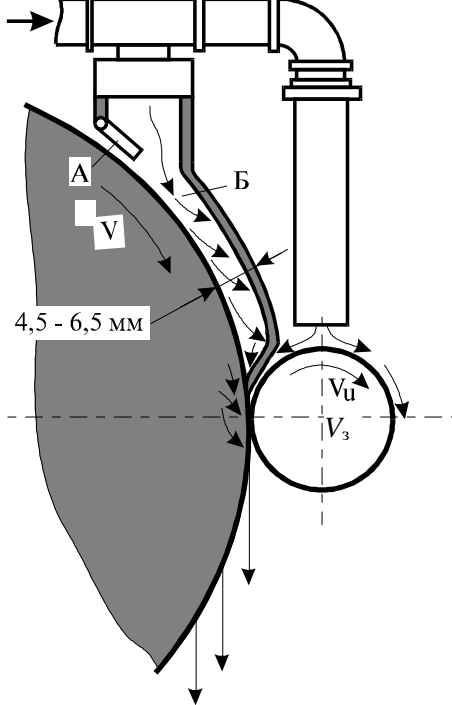


Рис. 1. Схема підводу ЗОТС у зону шліфування

При іншому підході пори круга використовуються як своєрідні накопичувачі різноманітних речовин, що виступають у ролі твердих мастил. Наприклад, процес імпрегнування (просочення) пористих абразивних кругів здійснюється у вакуумних камерах, де рідкі ЗОТС заповнюють пори по всьому обсягу шліфувального круга. Після видалення води в процесі сушіння тверді речовини залишаються в порах. У процесі шліфування ці речовини даються безпосередньо в зону

контакту робочої поверхні круга й оброблюваного матеріалу, успішно виконуючи роль ЗОТС. Подібний ефект досягається при зовнішньому натиранні робочої поверхні кола, безупинно

контактуючи з нею олівцями твердих мастил (віск, парафін тощо).

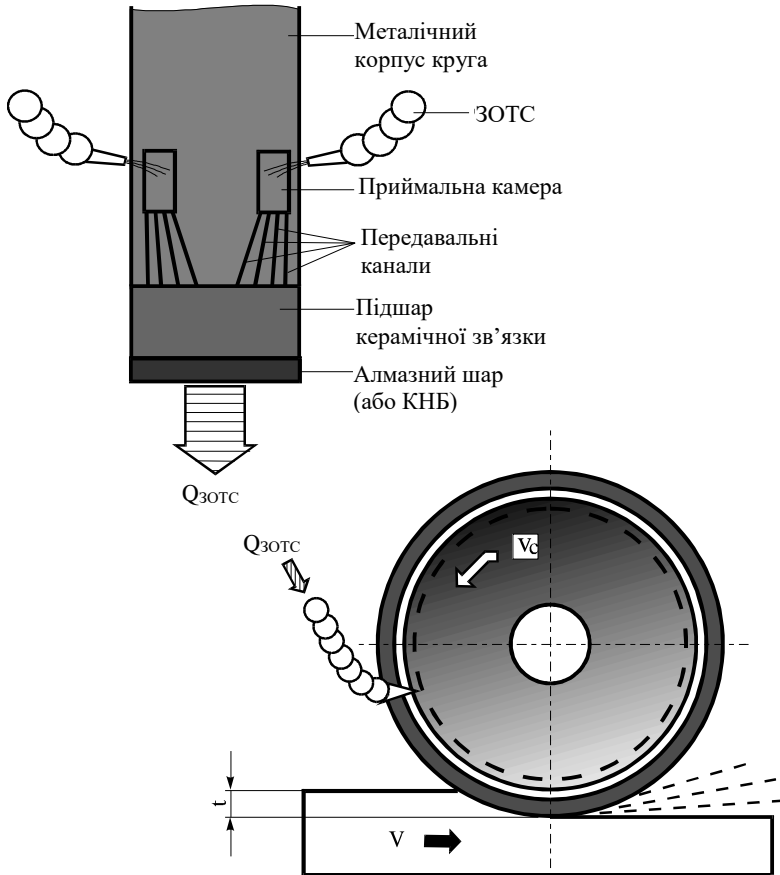


Рис. 2. Спосіб подання ЗОТС через пори шліфувального круга

Створення кіл із надтвердих нітридів бору дозволило реально будувати технологію сухої обробки. На рис. 3 подані результати порівняння високошвидкісного шліфування в інтервалі $V = 150 - 300$ м/с кругами КНБ (CBN) за двома варіантами: застосування як ЗОТС мінеральної олії (1) і без застосування ЗОТС (2). Нормальна сила P_y у випадку застосування ЗОТС більша, ніж при сухому різанні, тоді як

тангенціальні P_z – складові майже не відрізняються. Останні від швидкості майже не залежать. Шорсткість обробленої поверхні при сухому шліфуванні дещо гірша (критерій R_a), що пов'язано з різноманітними механізмами утворення стружки при сухому шліфуванні і шліфуванні з застосуванням ЗОТС. Висока стійкість кругів фіксується при $V=150$ м/с по технологічному критерію (критична шорсткість). При швидкості 300 м/с спостерігається незначний знос зерен. При швидкості $V=350$ м/с відбувається залипання міжзернового простору, що призводить до шкідливого підвищення тертя і зниження періоду стійкості круга. При цьому питома продуктивність усього на 10 % нижча, ніж при шліфуванні з застосуванням ЗОТС. Таким чином, можна за рахунок зменшення періоду стійкості або обмеження питомої продуктивності шліфувати загартовані сталі сухими.

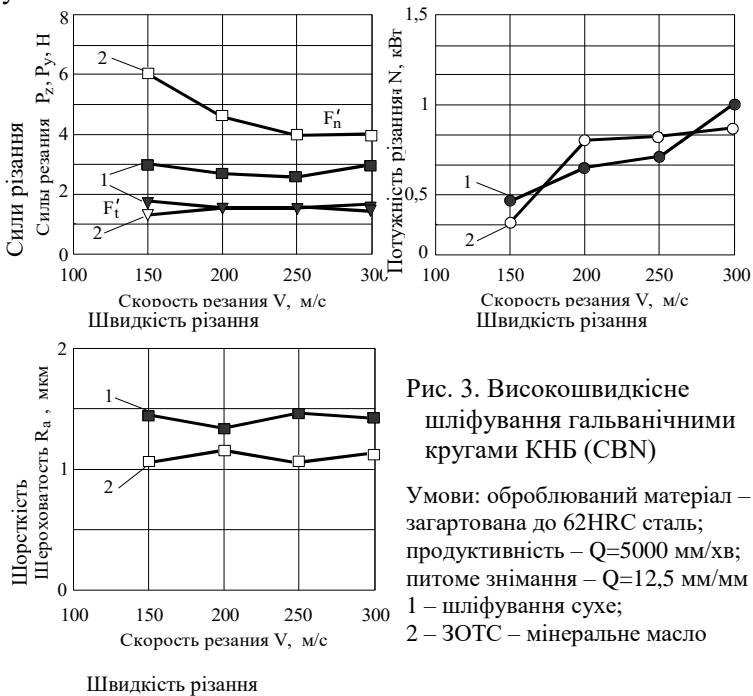


Рис. 3. Високошвидкісне шліфування гальванічними кругами КНБ (CBN)

Умови: оброблюваний матеріал – загартована до 62HRC сталь;
 продуктивність – $Q=5000$ мм/хв;
 питоме знімання – $Q=12,5$ мм/мм с;
 1 – шліфування сухе;
 2 – ЗОТС – мінеральне масло

2. Характеристика вихідних показників

Високошвидкісне різання варто розглядати головним чином як засіб підвищення продуктивності обробки. Продуктивність операції визначається кількістю деталей, оброблених за одиницю часу на даному верстаті або штучним (штучно-калькуляційним) часом на обробку. Відповідно до структури штучного часу, тобто часу обробки деталі на даній операції, продуктивність залежить від основного часу, необхідного для зняття припуску із заготовки, допоміжного часу на установку, зняття деталі, її вимір і керування верстатом, а також часу обслуговування, основну частину якого займає процес періодичного переточування лезового інструмента або правки шліфувального круга. Збільшення швидкості різання дозволяє одночасно збільшити подачі (швидкість знімання металу) і тим самим зменшити основний час обробки. При цьому можливі зміна періоду стійкості круга і відповідно часу обслуговування, що затрачується на його правку.

Вплив швидкості різання на швидкість знімання оброблюваного матеріалу пов'язаний з проявом трьох ефектів – кінематичного, швидкісного, статистичного (на прикладі шліфування).

1. Кінематичний ефект. Його сутність полягає в тому, що зміна швидкості різання призводить до пропорційної зміни кількості різальних кромок, що проходять зону шліфування за одиницю часу. Цей ефект до останнього часу вважали основним (а в багатьох випадках єдиним) обґрунтуванням можливості збільшення швидкості знімання металу при високошвидкісному шліфуванні. Така позиція призводила до того, що збільшення швидкості різання завжди дає можливість пропорційного збільшення знімання металу. Насправді ж варто враховувати й інші ефекти, що з'являються зі зміною швидкості різання.

2. Швидкісний ефект. Він полягає у зміні опори металу пластичному деформуванню, різанню та тертю. Фізична сутність цього явища була викладена вище. Тут варто тільки зазначити, що зміна швидкості різання призводить до зміни сили, що діє на кожну різальну кромку при одному перетині

зрізу, і граничного перетину зрізу, що витримується вершиною абразивного зерна. Залежно від оброблюваного матеріалу цей ефект може бути різноманітним не тільки в кількісному, але й у якісному відношенні. У випадку зменшення опору різанню зі збільшенням швидкості цей ефект є додатковим резервом збільшення швидкості знімання металу, і тоді він підсумовується з попереднім ефектом.

3. Статистичний ефект. Він обумовлений випадковим характером розташування різальних кромки на робочій поверхні круга та специфічної форми зрізу. Його поява також пов'язана зі зміною швидкості різання: збільшення швидкості при шліфуванні сталей і сплавів призводить до зменшення критичного значення відношення a_z/ρ , що характеризує момент початку різання. Отже, збільшується відсоток різальних кромки, що знімають стружку, тобто виконуючих корисну роботу шліфування. Крім того, зменшується довжина шляху ковзання і пластичного відтискування металу для тих різальних кромки, що знімають стружку. При наявності цього ефекту з'являється ще одна можливість збільшення швидкості знімання металу, що доповнює перші два ефекти.

Зі збільшенням швидкості спостерігається позитивний вплив усіх трьох ефектів: у більшому ступені кінематичного, а швидкісного і статистичного – у меншому. При цьому, вплив швидкісного та статистичного ефектів у різних діапазонах швидкостей різання неоднаковий: обидва ефекти регресивно залежать від швидкості – при великих швидкостях різання їхній вплив на питоме знімання металу слабшає. Очевидно, що при швидкостях різання понад 160 м/с уже починає виявлятися негативна дія інерційних сил стружки при стружкоутворенні, не встигає прогріватися зона зсуву, інтенсивність пластичної деформації металу стабілізується (відношення a_z/ρ і коефіцієнт видавлювання ε_n мало залежать від швидкості), в результаті цього вплив швидкості різання на питоме знімання металу виражається майже тільки кінематичним ефектом, а швидкісний і статистичний ефекти стають незначними.

На рис. 4 наведені дані для порівняння глибинного шліфування з традиційними і високими швидкостями різання.

Як бачимо, при різних глибинах перевага залишається за високошвидкісним шліфуванням.

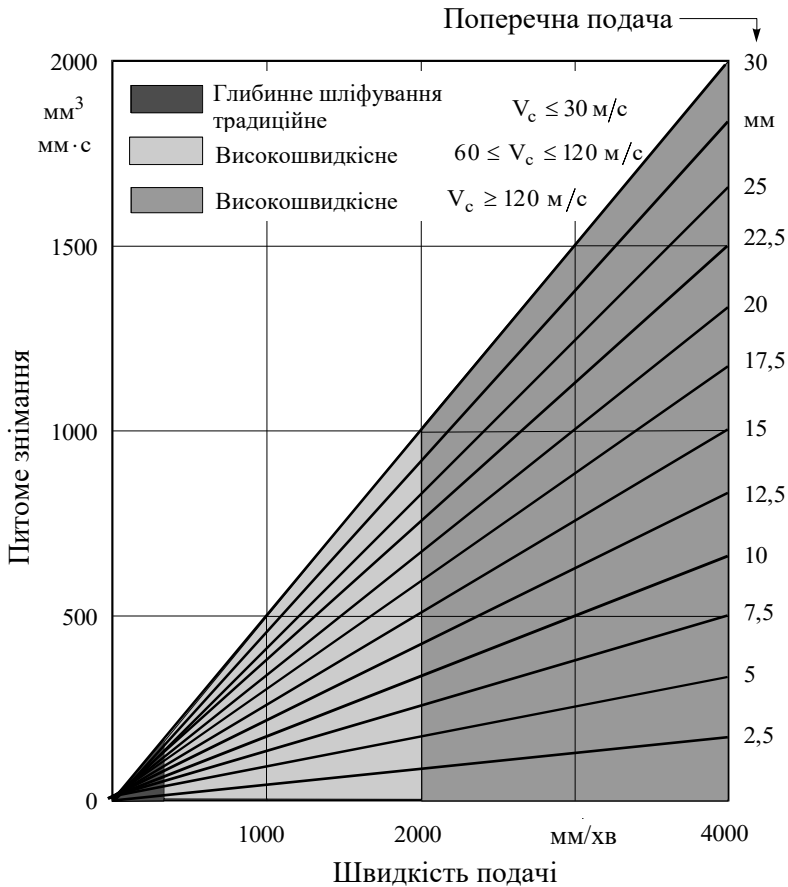


Рис. 4. Порівняння продуктивності глибинного шліфування звичайного і високошвидкісного

Збільшення швидкості різання стосовно шліфування кругами із КНБ є одним з найбільш ефективних засобів, що збільшують швидкість знімання металу, особливо при обробці різноманітних швидкорізальних та інших високолегованих

загартованих сталей, що погано оброблюються електрокорундовими кругами.

Значне зменшення сили різання при високошвидкісному шліфуванні ельборовими кругами, зафіксоване в різноманітних роботах (табл. 1), є передумовою для збільшення швидкості знімання металу без істотного збільшення питомої витрати ельбору і зберігання гарної якості оброблених поверхонь. При цьому слід зазначити велику чутливість ельборових кругів до радіальних коливань у зоні шліфування: збільшення інтенсивності коливань призводить до значного збільшення їхньої питомої витрати.

Методом багатофакторного планування експериментів (була реалізована схема центрального композиційного планування з трьома перемінними факторами: v , v_3 , t) отримані емпіричні залежності такого вигляду:

Таблиця 1

Емпіричні залежності для розрахунку складової сили різання P_z і P_y при шліфуванні (за даними різних дослідників)

Вид шліфування	Оброблюваний матеріал	Абразивний інструмент	Швидкість різання, м/с	Емпіричні залежності
1	2	3	4	5
Кругле зовнішнє за методом повздовжніх проходів при $v/v_3=60$; $s=0,5$ мм/хв; $t=0,015$ мм/хід; $Q=1100$ мм ³ /хв	P6M5 (HRC 63-65)	ЛПП 400X	32–75	$P_z = 32,1 \cdot v^{-0,47}$ $P_y = 94 \cdot v^{-0,55}$
	P12Ф4К1 0М3 (HRC 66-70)	X25X203 X X5 ЛО 16 Л25		$P_z = 25,7 \cdot v^{-0,33}$ $P_y = 114 \cdot v^{-0,48}$
Плоске шліфування площадки 18X6 мм без охолодження	P18; P18Ф2; P14Ф4	4K125X10, ЛО 100/80	32–75	$P_y = 1,08 \cdot 10^4 t^{0,95} v_3^{0,5} v^{-1,3}$; $P_z = 1,36 \cdot 10^3 t^{0,62} v_3^{0,7} v^{-1,4}$
	P10K5Ф5	24A25 M3 6К		$P_y = 1,015 \cdot 10^4 t^{1,06} v_3^{0,77} v^{-1,2}$; $P_z = 0,9 \cdot 10^3 t^{0,52} v_3^{0,68} v^{-1,3}$

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5
Кругле зовнішнє врізне	Сталь 45	24A25 М 2 6К	30–60	$P'_z = 7,8 \cdot Q_{II} \cdot v^{1,22};$ $P'_y = 17,2 \cdot Q_{II} \cdot v^{1,165}$
Плоске шліфування периферією круга при $v_s=10 \div 40$ м/хв; $t=0,01 \div 0,03$ мм; $s_n=3$ мм/хід для сталі Р18	Р18 (HRC 62-63)	ЛПП 250Х Х16Х76 ЛО 16 С1 К7	17–70	$P_z = 2,17v^{-0,62} v_3^{0,29} t^{0,63};$ $P_y = 6,64v^{-0,36} v_3^{0,14} t^{0,45}$
	Р6М5 (HRC 62-63)			$P_z = 2,43v^{-0,55} v_3^{0,29} t^{0,56};$ $P_y = 6,68v^{-0,34} v_3^{0,18} t^{0,44}$
	Р9К10 (HRC 62-63)			$P_z = 2,93v^{-0,57} v_3^{0,27} t^{0,59};$ $P_y = 8,24v^{-0,34} v_3^{0,18} t^{0,40}$
	Р9Ф5 (HRC 63-64)			$P_z = 4,04v^{-0,54} v_3^{0,26} t^{0,50};$ $P_y = 9,16v^{-0,32} v_3^{0,19} t^{0,36}$

$$q = C_q \cdot v^{x_q} \cdot v_3^{y_q} \cdot t^{z_q};$$

$$T = C_T \cdot v^{x_T} \cdot v_3^{y_T} \cdot t^{z_T};$$

$$R_a = C_{R_a} \cdot v^{x_{R_a}} \cdot v_3^{y_{R_a}} \cdot t^{z_{R_a}};$$

де q – питома витрата, мг/м; T – стійкість, хв; R_a – середнє арифметичне відхилення профілю, мкм, V_3 – швидкість заготовки, м/м.

Значення коефіцієнтів та показників ступенів цих залежностей наведені в табл. 2.

Таблиця 2

**Значення коефіцієнтів і показників ступенів
для емпіричних залежностей питомої витрати q , стійкості T і
середньоарифметичного відхилення профілю R_a
від елементів режиму шліфування**

Оброблюваний матеріал	q				T				R_a			
	C_q	x_q	y_q	z_q	C_T	x_T	y_T	z_T	C_{R_a}	x_{R_a}	y_{R_a}	z_{R_a}
Р18	6,8	-0,77	0,67	0,18	3160	0,36	-1,4	-0,47	0,37	-0,27	0,23	0,25
Р6М5	1,8	-0,8	1,2	0,19	3400	0,36	-1,4	-0,45	0,21	-0,20	0,25	0,35
Р9К10	14,2	-1,2	1,0	0,25	2400	0,37	-1,34	-0,43	0,35	-0,24	0,25	0,25
Р9Ф6	17,2	-0,9	0,86	0,08	250	0,13	-0,63	-0,35	0,64	-0,26	0,13	0,21

З аналізу отриманих залежностей видно, що при шліфуванні всіх сталей зі збільшенням швидкості різання відбувається зменшення питомої витрати і шорсткості шліфувальних поверхонь та збільшення стійкості круга.

У таблиці 3 наведені дані для порівняння різних способів шліфування кругами з КНБ. Як видно, питома продуктивність високошвидкісного шліфування на два порядки вища, ніж порівнюваних.

Таблиця 3

Порівняння високопродуктивного плоского шліфування з маятниковим та глибинним (за Таваколі)

Регульований параметр	Спосіб		
	Маятникове шліфування	Глибинне шліфування	Високопродуктивне шліфування
Поперечна подача	Мала, 0,001–0,05 мм	Велика, 0,1–30 мм	Велика, 0,1–30 мм
Частота обертання заготовки	Висока, 1–30 м/хв	Низька, 0,05–0,5 м/хв	Висока, 0,5–10 м/хв
Швидкість різання	Низька, 20–60 м/с	Низька, 20–60 м/с	Висока, 80–200 м/с
Питома продуктивність	Низька, 0,1–10 мм ³ /(м·с)	Низька, 0,1–10 мм ³ /(м·с)	Висока, 50–2000 мм ³ /(м·с)

Якість поверхні при високошвидкісному різанні має ряд переваг. Як лезова, так і абразивна високошвидкісна обробка може конкурувати з такими чистовими процесами, як ручне і променеве полірування, істотно перевищуючи їх за продуктивністю та собівартістю (рис. 5).

1. Чорнова обробка + напівчистова + чистова + ручне полірування
2. Чорнова обробка + напівчистова + чистова + променеве полірування
3. Чорнова обробка + напівчистова + чистова + високошвидкісне фрезерування

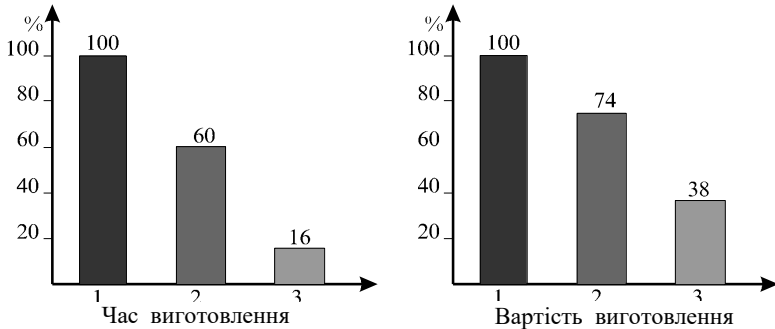


Рис. 5. Порівняння різних стратегій обробки

У загальному випадку діапазон раціональних швидкостей різання при шліфуванні може знаходитися в межах від декількох метрів до декількох сотень метрів за секунду. У будь-якому випадку потрібно враховувати не тільки переваги, але й обмеження, викликані вимогами до якості обробки, верстата, інструмента.

3. Питання для самостійного контролю

1. Які особливості застосування рідких і твердих ЗОТС при шліфуванні?
2. Яка роль кінематичного, швидкісного та статистичного ефектів при високошвидкісному шліфуванні?
3. Порівняйте характеристики глибинного, звичайного та високошвидкісного шліфування.
4. Охарактеризуйте переваги застосування кругів із КНБ (CBN).