

УДК 621.923

В.І. Лавріненко, д.т.н.

І.В. Лещук, м.н.с.

ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України

РОЗРОБКА ПРИНЦИПІВ СТВОРЕННЯ КРУГІВ З НТМ ІЗ СПРЯМОВАНОЮ ЗМІНОЮ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОЧОГО ШАРУ

Сформульовані принципи досягнення спрямованої зміни характеристик робочого шару та визначено, що для реалізації цього треба мати багатошаровий різальний шар, який би містив основний робочий шар та вставні сектори, мета яких активувати цю здатність постійною зміною характеристик робочого шару в зоні обробки.

Актуальність проблеми. Аналіз сучасного стану ринку інструментів в Україні свідчить про збільшення потреб виробництва у сучасних інструментальних матеріалах. У зв'язку з цим розробці нових конструкцій багатошарових кругів з НТМ, що поєднують ефективність роботи надтвердих матеріалів та спрямовану зміну характеристик робочого шару безпосередньо у зоні різання, саме і повинні надати якісного стрибка у суттєвому поліпшенні зносостійкості кругів при продуктивній та якісній обробці важкооброблюваних інструментальних матеріалів, що є сучасною та актуальною задачею. Вирішенню цього і присвячена викладена нижче робота.

Мета роботи полягає у розробці принципів створення багатошарових кругів із спрямованою зміною характеристик робочого шару безпосередньо в зоні обробки.

Основні результати роботи та їх обговорення. В процесі шліфування внаслідок формозміни різальної поверхні круга формування оброблюваної поверхні відбувається фактично одиничними зернами, які знаходяться на верхівці профілю, що підкреслює важливість за таких умов стану системи “зерно-зв'язка”. Для його оцінки уявимо процес формування робочого шару круга у вигляді проведення випробування зразка, що піддається одновісному стисненню в процесі пресування. Зразок у вихідному стані є ізотропним, оскільки вважаємо, що його вміст у вигляді зв'язуючого та шліфпорошку з НТМ гарно змішаний. Вкажемо, що при плоскому напруженому стані ізотропного тіла граничний контур міцності (тежчості) має дві взаємно перпендикулярні осі симетрії, які нахилені до осей координат під кутом 45° і проходять через їх начало [1].

Вирішення питань формування анізотропії та орієнтації робочого шару розглядалося нами в площині зрізу цього шару вздовж напрямку лінії дії зусилля пресування, а орієнтація фіксувалася до площини, яка була перпендикулярною до вектора дії цього зусилля. Оцінювання таких показників провадили методом растрової електронної мікроскопії із застосуванням системи аналізу зображень за методикою В.М. Ткача [2]. Встановлено (рис. 1), що при стандартних умовах формування робочого шару кругів на полімерних зв'язках показник орієнтації дорівнює 135° (або 45° , з іншого боку). Це співпадає із висновками роботи [3], де було виявлено, що при стандартних умовах формування та пресування робочого шару кругів з НТМ кут нахилу зерен складає відносно площини перпендикулярної вектору дії зусилля пресування саме 45° та 135° (зерна в перерізі різального шару нахилені на кут в 45° в обидва боки).

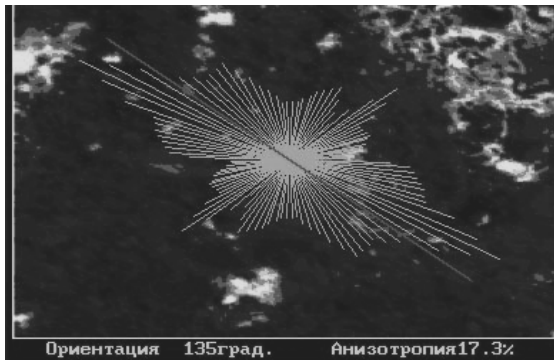


Рис. 1. Показники анізотропії та орієнтації робочого шару АС6 125/100 В2-01-1 100 в площині його перерізу вздовж напрямку вектора дії зусилля пресування

Наведене, на наш погляд, є підтвердженням тих припущень, які нами висловлені вище, і важливим є те, що значення кутів орієнтації і нахилу зерен співпадають не тільки між собою, але й із кутом, який передбачається теорією міцності як кут напрямку дії дотичних напружень в зразку, що був спресований за стандартними технологіями виготовлення кругів з НТМ.

Таким чином, зерна НТМ знаходяться у зовсім інших робочих умовах, аніж це традиційно уявляється дослідниками в теоретичних розробках (90°), а це означає, що слід базуватися на зовсім інших пріоритетах як у процесі формування робочого шару кругів, так і у

процесах обробки такими кругами. В першу чергу, наявність такого нахилу впливає на напружений стан системи «зерно–зв’язка», що нами досліджувалося. При цьому як метод розв’язання задачі використовувалася стандартна процедура методу кінцевих елементів, при якій розв’язувалася система рівнянь рівноваги, співвідношення Коші та закону Гука з початковими умовами та обмеженнями із використанням програми “Термопружність”. Вкажемо, що для кращої працездатності зерен бажано було мати навкруги зерна у зв’язці такий напружений стан, який був би наближений до рівномірного. Для оцінки рівномірності такого стану в зв’язці навкруги зерна нами використані показник перепаду напружень вздовж довжини зони контакту зерна із зв’язкою – $\Delta\sigma_{\max}$, а також показник – $\Delta\sigma_m$, який характеризує перепад напружень в крайніх діаметрально протилежних точках контакту зерна зі зв’язкою. Чим меншими будуть значення таких перепадів, тим більш сприятливими будуть напружений стан і умови роботи зерен. Але, враховуючи мету нашої роботи, звернемо увагу на інше, а саме на те, як змінюється тенденція у цих показниках із зміною кута нахилу зерен у тенденції зміни одного з найважливіших базових параметрів процесу шліфування – коефіцієнта абразивного різання $f_a = P_z/P_Y$.

Результати розрахунків показників перепадів напружень для різних кутів нахилу зерен і коефіцієнтів f_a подані в табл. 1, аналіз якої засвідчує, що при куті нахилу зерен в 90° , який традиційно приймається дослідниками за аксіому, найменші перепади напружень утворюються при малих значеннях коефіцієнта f_a від 0,05 до 0,15. А це означає, що основною тенденцією у цьому випадку слід вважати необхідність прагнути до зниження величини коефіцієнта абразивного різання.

Разом з тим, за умов реальних кутів нахилу в 45° і 135° висновки інші. З табл. 1 видно, що при куті в 45° найменші перепади напружень утворюються вже при підвищених значеннях коефіцієнта f_a . А ось кут в 135° дає дещо суперечливі дані, оскільки за одним показником перепаду виходить, що значення f_a повинні бути низькими, а за іншим – високими.

Таблиця 1

Вплив коефіцієнта абразивного різання на розрахункові показники перепаду напружень у зв’язці в місці контакту зв’язки із зерном

Коефіцієнт	Показники перепаду напружень (МПа) при кутах нахилу зерен :
------------	---

абразивного різання, f_a	45°		90°		135°	
	$\Delta\sigma_{\max}$	$\Delta\sigma_m$	$\Delta\sigma_{\max}$	$\Delta\sigma_m$	$\Delta\sigma_{\max}$	$\Delta\sigma_m$
0,05	31,34	18,73	20,23	1,39	33,81	20,59
0,10	74,95	45,47	53,93	10,81	89,11	56,60
0,15	28,96	16,98	23,39	7,26	36,29	21,91
0,20	68,39	40,45	61,92	25,27	96,70	56,98
0,25	40,00	23,19	39,67	19,43	58,69	31,08
0,30	38,39	22,07	42,29	23,70	60,70	29,96
0,35	24,66	13,58	29,93	18,63	41,29	18,56
0,40	23,58	13,24	31,67	21,45	42,57	17,70

Викладене вище означає, що нам необхідно орієнтуватися на тенденції, що є характерними якраз для кута нахилу зерен в 45°. А ці тенденції свідчать про те, що для досягнення сприятливого напруженого стану системи «зерно–зв’язка» і, відтак, для підвищення зносостійкості кругів необхідно прагнути в процесі шліфування зовсім не до зниження, як це виходить з концепції кута в 90°, а до підвищення величини f_a . Такий висновок підтверджують наші дослідження з вивчення зв’язок зносу круга з коефіцієнтом f_a при шліфуванні твердих сплавів ВК60М та ТН20, де встановлено, що із зростанням величини f_a знос алмазних кругів знижується.

Вказані вище дослідження підтверджують висунуте нами положення про необхідність підвищення значення величини коефіцієнта абразивного різання і, тим самим, підтверджують пріоритет кута $\pi/4$ в шліфуванні. На наш погляд, неврахування нахилу зерен в теоретичних розробках і прийняття його апріорі в 90°, тим самим, розташованим вертикально, призводить не просто до кількісної погрішності, а й до якісної помилки, бо, як свідчить викладене вище, напрямок досліджень може бути спрямований в зовсім іншому протилежному напрямку.

Таким чином, наведені вище дослідження підтверджують нашу гіпотезу про те, що в структурі робочого шару кругів з НТМ особливе місце займають зміни, які формуються при спіканні робочого шару, а відбуваються вони в напрямку дії максимальних дотичних напружень і, відповідно, в напрямку кутів ($\pi/4 \leftrightarrow 3\pi/4$), що необхідно враховувати. Це призводить до створення відповідного специфічного напруженого стану системи “зерно–зв’язка”, а останнє – впливає на утримання самого зерна. Наведене вище свідчить про те, що набуває важливого значення можливість спрямованого впливу на фізико-механічні характеристики робочого шару, для визначення умов підвищення працездатності шліфувального інструмента з НТМ.

В літературі узагальнених даних за такими характеристиками недостатньо, тому стосовно мети нашої роботи надалі були вивчені деякі важливі для нас характеристики робочого шару кругів з НТМ (табл. 2). Оскільки ми реально маємо справу з абразиввміщуючими композитами, то нас у значній мірі цікавила зміна їх властивостей в залежності від зміни характеристики робочого шару кругів з НТМ.

Таблиця 2

Фізико-механічні властивості зв'язок кругів

Зв'язка	$\sigma_{см}$, МПа	$\sigma_{зс}$, МПа	σ_p , МПа	E , ГПа	α , $10^{-6} \cdot \text{град}^{-1}$
M1-10	230	71	39,8	63,0	25,1
M2-01	830	515	198,2	105,0	15,3
M2-12E	392	123	31,5	105,4	–
MO20-2	677	119	49,2	80,0	25,3
V1-01	–	–	35,8	–	21,5
V1-13	213,0	–	28,0	16,2	16,5
V2-01	237,1	93,2	26,0	–	24,7
BC-E	213,8	77,8	30,8	–	–

Встановлено, що границя міцності на розтягнення для металевих зв'язок має вигляд: $\sigma_p = (\sigma_p^{36} - 0,15K)k_n$, а для металополімерних – $\sigma_p = (\sigma_p - 5,3 \cdot 10^{-2} K) k_n$ та із зростанням відносної концентрації алмазів в робочому шарі міцність на розтягнення спадає. Виявлено, що при цьому покриття алмазів (металом – $k_n = 0,85$, склом – $k_n = 0,6$, МА – $k_n = 0,83$) також призводить до зменшення міцності композитів.

Виявлено, що і границя міцності на згин композитів із зростанням концентрації алмазів зменшується. Так, для металевої зв'язки MO20-2 та металополімерної типу V1-13 (BC-E) отримана наступна залежність: $\sigma_{зс} = 34512,68 / (351,96 + K)$. Аналогічно впливає зернистість. Так, для металополімерної зв'язки $\sigma_{зс} = 83,89 - 7,686 \cdot 10^{-2} Z$. При цьому встановлена тенденція, що використання більш міцних алмазів та їх покриття також зменшує міцність.

Границя міцності на стиснення у більшій мірі вивчена нами на менш міцних полімерних та металополімерних композитах. І у цьому випадку встановлено, що із зростанням концентрації НТМ міцність полімерних також спадає. Залежність має наступний вигляд: $\sigma_{см} = (\sigma_{см}^{36} - 0,2 K)$, а ось на металополімерних навпаки, спостерігається тенденція до збільшення міцності. Склопокриття зерен у металополімерній зв'язці також знижує міцність (приблизно на 5%), а покриття МА навпаки – підвищує на $\approx 17\%$.

Слід зазначити, що контроль вказаних вище показників міцності для реальних інструментів є у певній мірі ускладненим, тому бажано було б мати такий показник, який би не призводив до необхідності руйнування робочого шару і був би технологічно нескладним. Таким показником може бути твердість. Зазвичай твердість різального шару для різних складів зв'язок є різною. І все-таки, найбільш цікавими є питання зміни значення твердості для одного складу зв'язок, що є найменш дослідженим. Так, із підвищенням відносної концентрації НТМ спостерігається тенденція до зростання твердості робочого шару кругів з НТМ. Покриття зерен НТМ впливає по-різному: металопокриття дещо підвищує твердість робочого шару, а склопокриття знижує твердість робочого шару в межах 25 %, а в кругах на полімерних зв'язках склопокриття є небажаним, оскільки зниження твердості сягає до 40 %.

Нарівні з цим, з твердістю пов'язані й інші властивості, які нас будуть цікавити з точки зору мети наших досліджень, наприклад, питомий електроопір. Виявлено, що із зростанням твердості електроопір спадає, причому інтенсивність спадання однакова як для композитів на металевих, так і на металополімерних зв'язках. Вкажемо, що і основа керамік суттєво впливає на їх провідність (табл. 3). Додатково вкажемо, що металізація (МА, Н125) алмазних зерен підвищує провідність композитів, а склопокриття – знижує. Це є характерним як для металевих, так і металополімерних зв'язок.

Таблиця 3

Питомий електроопір зв'язок для кругів з НТМ

Основа зв'язки	Марка	Питомий електроопір, $\cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$
Металева	M1-04	0,050 – 0,058
	M2-01	0,038 – 0,042
	M2-09	0,105 – 0,114
	M2-12E	0,110 – 0,120
Метало-полімерна	B1-02	0,040 – 0,055
	B1-10	0,420 – 0,480
Полімерна	B2-01	$1,8 \cdot 10^{11} \text{ Ом} \cdot \text{м}$

Таким чином, наведені вище дослідження дозволяють встановити певні шляхи регулювання та зміни фізико-механічних властивостей у необхідному, для конкретних умов шліфування, напрямку. Так за рахунок твердості можливо регулювати не тільки абразивоутримання, а й властивості композитів. Між тим, за умов формозміни різальної

поверхні круга в процесі шліфування та несприятливих особливостей розташування зерен певне значення має дослідження зв'язку формозміни різальної поверхні круга з особливостями зміни її твердості.

Так, відомо [4], що в процесі шліфування різальна поверхня круга пристосовується до умов різання і набуває складної форми. Наприклад, в роботі показано, що в окружному напрямку розгортка різальної поверхні круга набуває трикутну форму профілю. При цьому виявлено, така форма профілю постійно переміщується в окружному напрямку таким чином, що створюються своєрідні процеси хвильового формозмінення. Також встановлено, що рух гребеня хвилі є нерівномірним, а його зриви визначають процеси оновлення різальної поверхні при шліфуванні.

В даній роботі нами вивчалися саме питання нерівномірності руху хвильової формозміни по поверхні круга. Якщо зробити колограми переміщення точок западини (*min*), як приклад наведену на рис. 2, або вершини (*max*) хвилі по поверхні круга у коловому напрямку, то у якихось секторах круга цих точок буде більше, а у якихось – менше. При цьому за деякий проміжок часу кількість *min* співпадає з кількістю *max*. Тому не дивно, що на крузі одна точка має підвищений знос. Оскільки спостерігається рух хвилі, то ця точка з часом буде мати і малий знос. Відмітимо також (рис. 2), що точки перерізів 3, 4, 7, 8 мають більше мінімумів, аніж, наприклад, 0, 1, 5, 6.

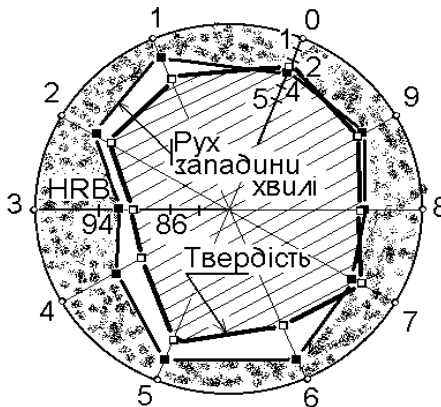


Рис. 2. Колограма твердості різального шару круга, на якому провадилися дослідження з вивчення хвильової формозміни різальної поверхні круга (12A2-45° 150x10x3x32 - КР 100/80 - ПК-03 100 %), співставлена з колограмою руху западини хвилі (маса шліфованої сталі Р6М5Ф3 складала 864 г)

Першу причину нерівномірності ми надали вище: це зрив вершини профілю, викликаний процесами розкриття різальної поверхні круга. А ось чому нема закономірності у самому процесі нерівномірності? На наш погляд, тут відіграє важливу роль неоднорідність у фізико-механічних характеристиках різального абразиввміщуючого шару конкретного круга як за глибиною шару, так і за його окружною поверхнею.

Для перевірки висунутої гіпотези нами була вивчена твердість робочого шару кругів по тих же 10 перерізах, по яких вивчали знос круга (див. рис. 2). Якщо порівняти обидві розгортки, то можна побачити, що характери колограм по западинах та по твердості майже співпадають. Це свідчить про те, що другою причиною нерівномірного руху хвилі по різальній поверхні круга є нерівномірність у твердості самої поверхні. А, як наслідок, ми і маємо такі коливання у величині зносу круга за рівні проміжки часу або масові величини зйомки матеріалу при шліфуванні. Наведене вище вказує на те, що бажано прагнути до досягнення найкращої рівномірності різальної поверхні круга за твердістю, але нами висувається інше положення, а саме положення про внесення спрямованої неоднорідності в характеристику робочого шару круга, що дозволило досягти ефекту спрямованої активізації різальної поверхні круга. Саме для таких умов, щоб забезпечити вплив на різальну здатність круга, ми повинні мати багат шаровий різальний шар, який би містив основний робочий шар та вставні сектори, мета яких активувати цю здатність постійною зміною характеристик різального шару. Нами сформульовані принципи досягнення такої спрямованої зміни.

Така зміна може бути у трьох напрямках: по-перше, ми можемо мати на поверхні круга як мінімум дві різних характеристики різального шару зміною зернистості НТМ, зв'язки, концентрації НТМ у робочому шарі, покриття зерен НТМ тощо, і, як наслідок, це має активуючий вплив на різальну поверхню; по-друге, ми можемо змінювати не характеристику різального шару його складовими, а зміною властивостей цього шару, наприклад, зміною твердості, електропровідності, теплопровідності тощо, що, як наслідок, може змінити показники процесу обробки; по-третє, ми можемо впливати також геометричними розмірами на різальну поверхню круга, змінюючи розмір вставок, їх послідовність, напрямок введення в роботу і таке інше.

Для їх реалізації нами запропонована нова конструкція круга з шарами у коловому напрямку, що чергуються (рис. 3), причому

періодичність чергування нерівномірна (розробка захищена на рівні винаходу А.с. №1437169). Вкажемо, що в такому робочому шарі на основний шар лягає головне навантаження, а вставки повинні забезпечити активування різального шару круга для підвищення його різальної здатності, а також змінити хвильову формозміну згідно з вказаними вище принципами. За таких умов важливо врахувати викладене нами вище положення про пріоритет зміни коефіцієнта абразивного різання в залежності від досягнення визначеної мети. Якщо врахувати, що головний шар повинен бути зносостійким, а вставки мати підвищену різальну здатність, то звідси витікає, що вставки для здійснення активуючої функції повинні мати таку характеристику, яка в процесі шліфування забезпечувала менший коефіцієнт абразивного різання, ніж основний шар.



Рис. 3. Круг з шарами, що чергуються у коловому напрямку

З літератури відома низка заходів, що змінюють коефіцієнт абразивного різання (f_a): підвищення швидкості обертання круга зменшує коефіцієнт f_a ; коефіцієнт f_a є більшим у кругів на металевій зв'язці M2-01, ніж в кругів на полімерній зв'язці B2-01; із зростанням зернистості та концентрації НТМ f_a підвищується.

Висновки. Таким чином, для досягнення спрямованої активації різального шару круга і одночасно невтрата в цілому зносостійкості у вставних секторах треба використовувати зернистість та концентрацію НТМ меншу, ніж в основному шарі. У випадку однакових характеристик на основному шарі та вставках необхідно змінювати фізико-механічні властивості вставок, наприклад, зменшувати їх твердість. Додатково вкажемо, що описаними вище прийомами ми можемо змінювати електропровідність системи і отримувати гарантований ефект підвищення зносостійкості кругів при електрошлі-

фуванні. Звернемо увагу також, що наведений принцип побудови конструкції різальної поверхні круга дозволяє також знайти шляхи більш ефективного використання у вставних секторах малоходових шліфпорошків невеликих міцностей та зернистостей НТМ, що є позитивним фактором.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Яценко В.Ф.* Прочность композиционных материалов. – К.: Вища школа, 1988. – 191 с.
2. Оценка качества режущей поверхности кругов из СТМ методом растровой электронной микроскопии / А.А.Шепелев, В.И.Лавриненко, А.Г.Гонтарь, В.Н.Ткач // Управление качеством финишных методов обработки: Сб. науч. тр. – Пермь: ПГТУ, 1996. – С. 31–34.
3. *Лавриненко В.И.* Пространственное расположение зерен СТМ в абразивсодержащем слое круга // Сверхтвердые материалы. – 1997. – № 5. – С. 72–79.
4. *Лавріненко В.І.* Наукові основи шліфування інструментальних із спрямованою зміною характеристик контактних поверхонь. – Автореф. ... докт. техн. наук – К.: ІНМ НАН України, 2000. – 35 с.

ЛАВРІНЕНКО Валерій Іванович – доктор технічних наук, завідувач відділу Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

Наукові інтереси:

- шліфування кругами з НТМ;
- інструменти з НТМ;
- властивості робочого шару кругів.

Тел.: 432–95–15.

E-mail: ceramic@ism.kiev.ua.

ЛЕЩУК Ірина Венедиктівна – молодший науковий співробітник Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

Наукові інтереси:

- шліфування кругами з НТМ;
- інструменти з НТМ;
- властивості робочого шару кругів.

Тел.: 432-95-15.

E-mail: ceramic@ism.kiev.ua.

Подано 15.03.2007