

УДК 621.923

А.О. Шепелев, д.т.н., с.н.с.

О.Є. Дуброва, аспір., м.н.с.

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України

ШЛІФУВАЛЬНІ КРУГИ ІЗ АЛМАЗО- ТА КУБОНІТОВМІЩУЮЧИХ МЕТАЛОПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ

Розроблено шліфувальні круги з алмазо- та кубонітовміщуючих металоолімерних композитів, що відносяться до шліфувальних кругів Європейської номенклатури (11V9, 12A2, 12R4 та ін.). Прийнята технологія програмованого спікання композитів, що реалізує функціональну технологічну умову «температура керує тиском», дозволила оптимізувати характеристики багатокомпонентних полімерних та металоолімерних композитів і розробити новий інструментальний композит (зв'язка марки В2-01-1) на основі системи «НТМ-полімер-метал-наповнювач».

Дослідження алмазно-абразивного інструмента, що застосовується в інструментальному виробництві, дозволяє зробити висновок, що найбільш ефективними є інструменти із вмістом алмазів до 50 каратів, діаметром 80–125 мм, шириною 2–5 мм, товщиною до 10 мм робочого шару. У таких інструментах вартість одного карата алмазів складає 1,2–1,5 долара при початковій вартості 0,30–0,50 долара, тобто вартість одного карата алмазів в інструменті збільшується в 2-4 і більше разів. Це відноситься до найбільш технологічно складних форм шліфувальних кругів Європейської номенклатури (11V9, 12A2, 12R4 та ін.), що широко застосовуються для обробки складнопрофільних та прецизійних різальних інструментів із твердих сплавів, інструментальних сталей тощо.

Для зазначеної номенклатури шліфувальних кругів із НТМ розроблена [1, 3, 4, 8] технологія програмованого спікання алмазо- та кубонітовміщуючих композитів у режимі керованих параметрів «температура-тиск-час», коли реалізується функціональна умова «температура керує тиском». Оптимізовані [6, 7] функціональні характеристики багатокомпонентних полімерних композитів і розроблені нові композити на основі системи «НТМ-полімерметал-наповнювач». Розроблено апаратурну систему «Прес-нагрівальний пристрій-контролер-ПЕОМ», що забезпечує підвищення працездатності шліфувальних кругів із НТМ за рахунок відповідності при спіканні швидкості проходження критичних температурних точок складових композиту та величини оптимального тиску пресування.

Вивчено термічне поведіння полімерних смол, що застосовувались для алмазо- та кубонітовміщуючих композитів [3, 4], і показано, що вітчизняні смоли в порівнянні з імпорнтними мають більшу втрату маси при нагріванні. Для зниження або зміни характеру втрати маси необхідно застосовувати швидкості нагрівання в діапазоні 2,5–5,0 град/хв. Для збільшення зносостійкості композитів рекомендується використовувати наповнювачі (оксиди або карбід), що мають найменшу атомну вагу.

У структурі полімерних композитів високомолекулярні сполуки є основною «конструктивною» і найменш теплостійкою ланкою. Проведено порівняльні дослідження поведінки при нагріванні різних смол: фенольних – СФП-012А, СФ-342А та СФ-010А, поліуретанової, а також імпорнтних смол. Швидкість динамічного нагрівання складала 10 град/хв. Результати експериментів показали (рис. 1), що поведінка смол при нагріванні досить різна. Можна виділити характерні ділянки на кривій $\Delta m = f(T)$: на першій – від 20 до 100 °С відбувається зменшення маси за рахунок сорбованої вологи і залишкових слідів органічних розчинників, на другій – має місце стабілізація від 100 до 200 °С, а потім на третій ділянці – більше 200 °С відбувається деструкція полімерів.

В першу чергу, становить інтерес друга ділянка, зокрема, тривалість “полочки” та температура початку деструкції полімеру, оскільки ці характеристики визначають технологію пресування композитів. З рис. 1 випливає, що найбільш стійкою до впливу температури (за показниками втрати маси) імпорнтні смоли (криві 3 і 4). Інші, крім кремній-органічних (крива 2), характеризуються відчутною втратою своєї маси при нагріванні. Смоли марок СФП-012А і СФ-342А становлять інтерес як найбільш розповсюджені для виготовлення полімерних композитів на основі НТМ. Необхідно забезпечити можливість зниження або зміни характеру зменшення маси при нагріванні цих смол.

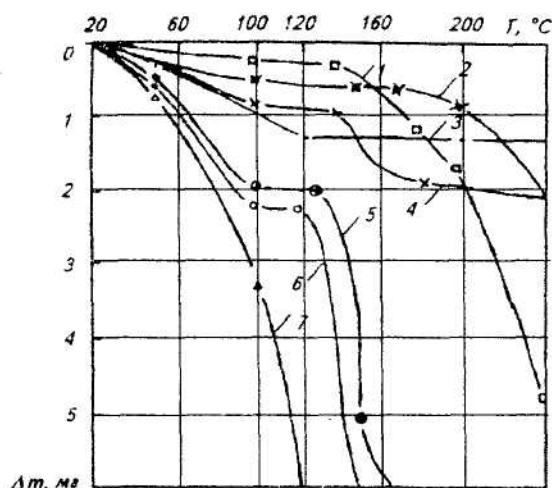


Рис. 1. Вплив температури на втрату маси полімерних зв'язок: 1 – поліуретану; 2 – кремнійорганічної смоли К-9; 3 – смоли № 1 (імпортований зразок); 4 – смоли № 2 (імпортований зразок); 5 – смоли СФП-012А; 6 – смоли СФ-342А; 7 – прес-порошку фенолформальдегідної смоли

Встановлено, що швидкість нагрівання впливає на втрату маси полімерних сполук, але практично не змінює положення характерних температурних точок. Так, для смоли СФП-012А (рис. 2) зміна швидкості нагрівання значно впливає на втрату маси, особливо для швидкостей нагрівання більше 1 град/хв. Найбільша втрата у діапазоні температур від 20 до 80 °С відбувається при нагріванні зі швидкістю 5,0 і 2,5 град/хв. По-іншому протікає втрата маси при нагріванні в інтервалі від 80 °С та вище: до 130 °С втрата маси незначна, вище 130 °С – маса різко зменшується. Процес отвердіння при таких швидкостях ніби відстає від процесу росту температури, що призводить до інтенсивного виділення газів, спучування зразка, підвищення пористості та зниження міцності.

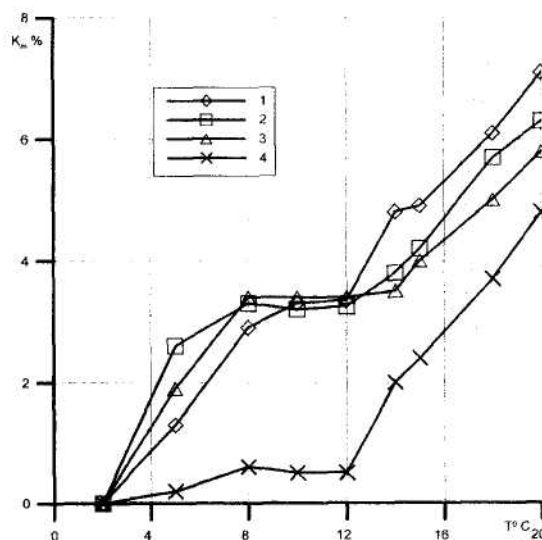


Рис. 2. Вплив швидкості нагріву на втрату маси смоли СФП-012А: 1–5; 2–2,5; 3–1,25; 4–1,0 град/хв

Для порівняння відзначимо, що зміна швидкості нагрівання майже не впливає на втрату маси імпортованої смоли. Тільки при більш повільному нагріванні (2,5 град/хв) втрати трохи зростають. Тому при використанні смол необхідно оптимізувати швидкість нагрівання в діапазоні від 80 до 130 °С, щоб процес нагрівання і, відповідно, «зшивання» та видалення летючих речовин проходив більш рівномірно. Представляється, що швидкість нагрівання в цьому діапазоні не повинна перевищувати 3–5 град/хв.

Введення наповнювача в смоли значною мірою змінює теплові ефекти і, відповідно, міцнісні характеристики, причому ця зміна дуже залежить від природи наповнювача. Тому при нагріванні композитів враховувалися показники їхньої твердості та зносостійкості. За наповнювач (зернистістю від 30 до 40 мкм) були обрані найбільш розповсюджені карбіди (B_4C , SiC) та оксиди (CaO , MgO , SiO_2 , ZnO , Al_2O_3 і CeO_2).

Аналіз даних по зносостійкості та твердості композитів дозволяє констатувати наявність певного взаємозв'язку цих показників із втратою маси при нагріванні. Так, на зносостійкість композитів найбільший вплив мають карбіди бору та кремнію, оксиди кремнію та алюмінію. За ступенем впливу втрати маси на зносостійкість композитів наповнювач, що вводять в полімерний матеріал, варто розділити на групи: карбіди; оксиди елементів з парною валентністю; оксиди елементів з непарною валентністю, а всередині груп – за зниженнями атомної маси металу оксиду або карбіду. Це дає можливість оцінити в першому наближенні ефективність введення нового наповнювача. Звідси випливає також висновок про те, що введення як наповнювача яких-небудь інших карбідів чи оксидів не приведе до позитивних результатів щодо підвищення зносостійкості, тому що в періодичній системі елементів лівіше бору знаходяться тільки літій та берилій, а лівіше магнію – натрій. На повітрі стійкий тільки оксид берилію, але він токсичний і не може бути рекомендований як наповнювач для виготовлення шліфувальних кругів із НТМ. Логічним висновком є те, що для підвищення зносостійкості полімерних композитів найкращими наповнювачами будуть, мабуть, мікропорошки із синтетичних алмазів або кубічного нітриду бору.

Вибір складу металополімерних композитів був проведений на підставі результатів досліджень працездатності шліфувальних кругів форми $11V9-70^0100 \times 3 \times 10$ на полімерних і металополімерних зв'язках марок В2-01, В1-13, В1-11П, МО2, 826N та інших, котрі вважаються найбільш перспективними при обробці інструментальних матеріалів. Дослідження показали (табл. 1 і 2), що найбільшу працездатність мають алмазні круги на зв'язці марки МО2.

Таблиця 1

Показники працездатності алмазних кругів $11V9-70^0100 \times 3 \times 10$
($V_{кр} = 11$ м/с, $S_{под} = 1,5$ м/хв, $S_{пол} = 0,05$ мм/пдв.х., ВК6, без МОР)

Характеристика алмазних кругів	q_p , мг/г	q_v , мг/см ³	G, мм ³ /мм ³
RVC-W-D126-826N-75	1,5	21,9	30,1
AC6 125/100 НІД-150-B2-01-75	28,0	408,8	1,6
AC6 125/100 НІД-150-B1-13-75	3,5	51,1	2,9
AC6 125/100 НІД-150-МО2-75	1,0	14,6	45,2
AC6 160/125 НІД-127-Б11-Л-75	10,0	146,0	4,5

Таблиця 2

Показники працездатності алмазних кругів $11V9-70^0100 \times 3 \times 10$ -AC6 125/100
($V_{кр} = 11$ м/с, $S_{под} = 1,5$ м/хв, $S_{пол} = 0,05$ мм/пдв.х., ВК6, без МОР)

Характеристика алмазних кругів		q_p , мг/г	q_v , мг/см ³	G, мм ³ /мм ³
Марка зв'язки (концентрація алмазів)	Степінь металізації алмазів (НІД),%			
В1-13 (K=100%)	0	13,05	170,30	3,35
	75	3,48	50,81	12,99
	100	5,91	86,29	7,65
	125	7,93	115,78	5,70
	150	5,46	79,72	8,28
МО2 (K=75%)	15	4,40	64,2	7,63
	75	5,44	79,4	8,31
	100	1,02	14,9	44,31
	125	1,24	18,1	36,45
	150	1,76	25,7	25,68
	175	1,95	28,5	23,18

Як відомо [2], основою зв'язки марки МО2 є металополімерний композит, що містить у якості металевої складової Cu-Sn з різним співвідношенням даних інгредієнтів, а в якості полімерної складової – фенольні смоли, що затвердівають при температурі порядку 180 °С і зберігають свої основні фізико-механічні властивості при нагріванні до 250–260 °С. Даний

композит характеризується тим, що з метою підвищення зносостійкості та продуктивності алмазно-абразивного інструмента як тверде зміцнення застосовується кадмій. Цей склад був прийнятий базовим при створенні металоолімерних двокаркасних композитів із НТМ (зв'язка марки В2-01-1). На основі використання нової технології програмованого спікання розроблені металоолімерні композити із спрямованою орієнтацією й оптимальною анізотропією різальної поверхні шліфувальних кругів із НТМ.

Вивчено особливості поведінки металоолімерних композитів марок В2-01-1 при нагріванні та встановлені температурні інтервали формування металевих фаз. Термогравіметричні дослідження [1] показали, що в інтервалі температур від 200 до 250 °С з максимумом в зоні 220 °С існує ендоефект плавлення визначеної складової композиту, ймовірно — олова, температура плавлення якого складає 232 °С.

Для вивчення встановленого явища були досліджені зразки композитів, отримані за певних умов пресування та спікання. Кожен зразок при спіканні доводили тільки до визначених параметрів і тим самим одержували структуру та властивості інструментального композиту в процесі спікання при заданих запрограмованих умовах.

Зміни властивостей інструментального композиту в процесі спікання наведені на рис. 3. Так, твердість композиту має ділянку постійної твердості в діапазоні 160–230 °С, а надалі твердість зростає. Фіксуються дві критичні температурні точки: 160 і 230 °С. Становить інтерес зміна товщини зразків у залежності від температури спікання: товщина зменшується до температури 230 °С, а надалі — зростає. У даному випадку критичною є точка — 230 °С. Зміна щільності зразків носить протилежний характер: щільність спочатку зростає, а після температури 200 °С — знижується. У цьому випадку критична точка — 200 °С.

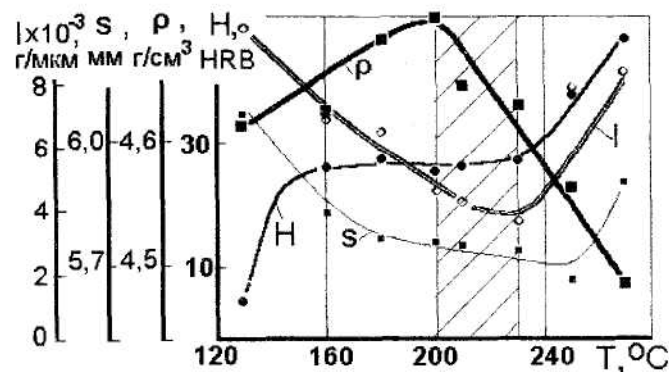


Рис. 3. Вплив температури спікання на показники металополімерних композитів:
J — зносостійкість, г/мм; *S* — товщина зразка, мм; ρ — щільність, г/см³,
H — твердість, HRB60

Досліджено характеристику зносостійкості зразків композитів марки В2-01-1 кругом 12А2-45⁰ 150x10-АС4 100/80-В2-01-100. Встановлено (рис. 3), що з підвищенням температури зносостійкість збільшується, а після температури 250 °С — знижується. У цьому випадку критичною є точка — 250 °С. Таким чином, аналіз отриманих експериментальних результатів дозволяє встановити другий критичний діапазон температур — 200–230 °С, при якому відбуваються фізико-хімічні процеси, що визначають процес спікання досліджуваних металоолімерних композитів.

Вивчено структуру поверхні зразків металополімерних композитів при встановлених температурах спікання. Необхідно відзначити характерні зміни структури композитів: при температурі 130 °С вона є зернистою і у ній відсутні виділення складових структури. При 200 °С видно виділення визначених складових, ймовірно — олова. При 230 і 250 °С структура стає більш дрібнозернистою, а при 270 °С — у ній фіксується наявність ліквіцій у вигляді скупчення складових компонентів.

Характер формування структури композитів залежить від температури спікання. Показано, що для металополімерного композиту перший його каркас формується в діапазоні температур від 130 до 180 °С (рис. 4). Початок формування другого — металевого каркаса починається після 180 °С і протікає досить активно при 200 °С. При цьому зменшується анізотропія структури, а її крок підвищується до 3 разів. Важливо, що дрібних об'єктів стає менше (від 2,5 до 3 разів). Цим підтверджується, що відбувається певна перебудова структури ТА формування другого каркаса.

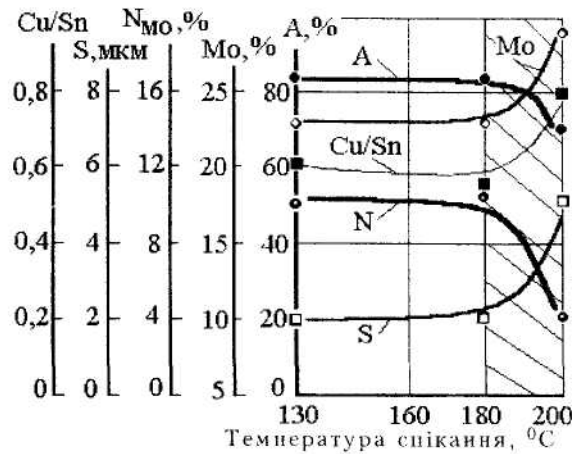


Рис. 4. Вплив температури спікання на зміну показників структури: *A* – анізотропії, *S* – крок структури, *N_{мо}* – процент дрібних об’єктів, *Mo* – вміст молібдену, *Cu/Sn* – співвідношення міді та олова

На рис. 5 наведені залежності, що показують зміну зазначених вище складових з підвищенням температури спікання. Можна зробити висновок, що чим більше олова в композиті Cu-Sn, тим більший вміст молібдену. Про це також свідчить і діапазон критичних температур (від 200 до 250 °C), де виявляється зазначений вище ефект.

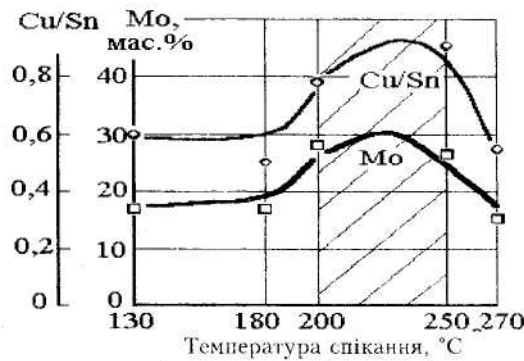


Рис. 5. Вплив температури спікання на зміну складових металічного каркаса

Формування певної анізотропії та орієнтації різальної поверхні розглядалося в площині перетину цієї поверхні вздовж лінії дії зусилля пресування, а орієнтація визначалася в площині, перпендикулярній до вектора дії цього зусилля (рис. 6 і 7). Загальна тенденція зміни зазначених вище показників із зміною температури спікання наведена на рис. 8. З підвищенням температури спікання зростають як анізотропія, так і кут орієнтації, а після температури 250 °C ці показники зменшуються. Таким чином, температура спікання розглянутих металополімерних композитів порядку 250 °C є граничною.

Таким чином, можна зазначити, що круги із НТМ на основі металополімерного композиту марки В2-01-1, розроблені за технологією програмованого спікання, за показниками діагностики різальної поверхні та працездатності (табл. 3 і 4) відповідають кругам із НТМ фірм «Ріггер» і «Вінтер» (Німеччина), а круги, виготовлені за традиційною технологією, істотно відрізняються від розроблених кругів.

Таблиця 3

Показники зносостійкості кругів із СА форми 11V9
($V = 11$ м/с, $S_{под} = 1,5$ м/хв, $S_{пон} = 0,05$ мм/пдв.х., ВК6, без МОР)

Характеристика кругів	q_p , мг/г	q_v , мг/см ³
RVG-W-D125-826N-75	1,51	22,05
АС6 125/100 НІД-150-826N-75	1,55	28,63
АС6 125/100 НІД-150-В2-01-1-75	0,94	13,72
АС6 125/100 НІД-150-В2-01-1-75	1,01	14,75

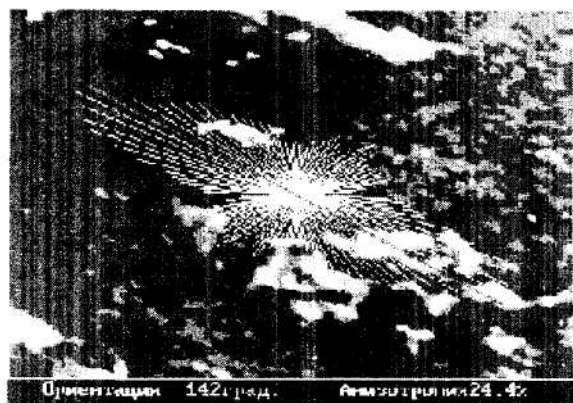


Рис. 6. Показники анізотропії та орієнтації різальної поверхні в площині перетину вздовж вектора дії зусилля пресування після спікання при температурі 250 °С

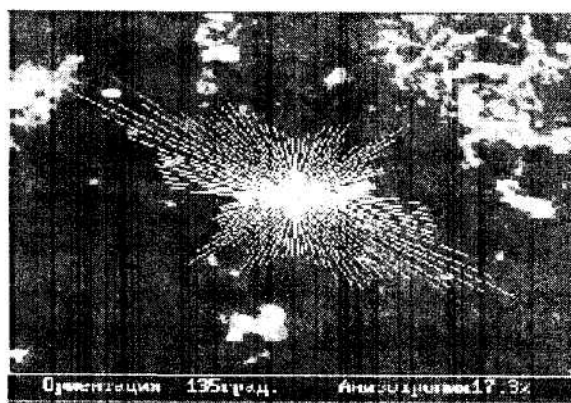


Рис. 7. Показники анізотропії та орієнтації різальної поверхні в площині перетину вздовж вектора дії зусилля пресування після спікання при температурі 180 °С

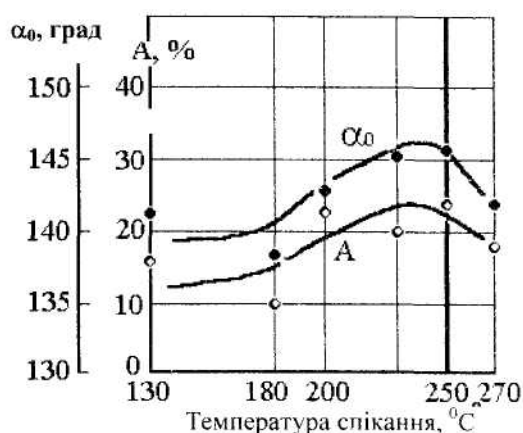


Рис. 8. Вплив температури спікання композиту на показники орієнтації (α₀) та анізотропії (A) різальної поверхні в площині дії вектора зусилля пресування

Таблиця 4

Показники зносостійкості кругів із КІБ форми 11V9
($V_{кр} = 20$ м/с, $S_{под} = 1,5$ м/хв, $S_{нон} = 0,05$ мм/пдв.х., Р6М5, без МОР)

Характеристика кругів	q_p , мг/г	q_v , мг/см ³
B181 V180-999R	0,55	4,29
B181 V180-KSS007	0,90	7,02
КР 250/200 НІД-100-999R	0,95	7,41
B181 V180-B2-01-1	0,76	5,93
КР 125/100 НІД-100-B2-01-1	1,06	8,27
КР 200/160 НІД-100-B2-01-1	0,55	4,29
КР 125/100 НІД-150-B2-01-1	0,65	5,07
КД 250/200-B2-01-1	2,45	19,11

Отримано цікаві результати (табл. 5) дослідження показників орієнтації та анізотропії різальної поверхні кругів, з кубоніту на зв'язці марки В2-01-1 у залежності від її модифікації (вмісту та виду наповнювачів). Встановлено, що модифікація 1К характеризується анізотропією 1,1–1,8 %, що є досить високим ступенем однорідності структури шліфувальних кругів із НТМ. Інші модифікації забезпечують анізотропію 2,6–5,25 % (2К, 3К и 5К) та 6,1–10,9 % (4К, 6К). При цьому вміст наповнювачів та їхньої характеристики впливають на анізотропію.

Параметр орієнтації різальної поверхні кругів, складає 53–119 град, у т.ч. для модифікації 1К – 75–98 град. Визначеної кореляції з показником анізотропії при цьому не встановлено.

Таблиця 5

Показники орієнтації та анізотропії, двомірний Фур'є-аналіз різальної поверхні шліфувальних кругів 11V9-70° 100x10-KP 200/160-11Д-150-B2-01-1-100 при шліфуванні сталі марки Р6М5 ($V_{кр} = 14$ м/с, $S_{под} = 1,5$ м/хв, $S_{пот} = 0,05$ мм/пдв.х., без МОР)

Модифікація зв'язки марки B2-01-1	Показник орієнтації поверхні, град	Показник анізотропії поверхні, %
1К	75-98	1,1-1,8
2К	68-77	2,6-5,2
3К	60-61	3,3-4,5
4К	53-76	6,5-10,9
5К	94-119	3,6-4,9
6К	73-104	6,1-8,0

Встановлено, що показники анізотропії для кругів на зв'язках марок B2-01-1 та 826N (фірма «Ріггер») рівнозначні і складають у залежності від $V_{кр}$ і Aa – 4,0–7,6 %. Показник орієнтації функціонально залежить від $V_{кр}$ і Aa : із збільшенням $V_{кр}$ від 14 до 17 м/с і величини Aa до 50 мкм він збільшується від 20–30 град до 69–71 град. При $V_{кр} = 17$ м/с цей показник більш ніж у 2 рази вищий в порівнянні з $V_{кр} = 14$ м/с.

Розроблені шліфувальні круги із НТМ форми 11V9 на зв'язці марки B2-01-1 забезпечують підвищення працездатності кругів до 10 разів у порівнянні із серійними і у 1,5 разів в порівнянні з імпортними кругами [8]. Крім того, собівартість виробництва кругів за новою технологією на 30 % вища. Розроблено спеціалізовану установку для виробництва шліфувальних кругів форми 11V9 продуктивністю 5000 штук у рік.

Для організації в концерні АЛКОІ виробництва шліфувальних кругів із НТМ форм 11V9, 12A2 і 12R4 та ін. розроблений бізнес-план [5], що включає організаційний, виробничий і фінансовий плани. Аналіз зазначених планів дозволив визначити головні показники ефективності господарської діяльності при виробництві цим інструментом. У цілому реалізація проекту є прибутковою, строк окупності не перевищує трьох років, індекс прибутковості інвестицій дорівнює 1,5. Дана продукція на ринку є конкурентноздатною.

Таким чином, дослідження підтвердили можливість спрямованого формування каркасних металополімерних композитів з НТМ із визначеними показниками анізотропії й орієнтації різальної поверхні. Для високопродуктивного шліфування твердих сплавів та інструментальних сталей розроблені металополімерні композити з алмазів та кубоніту (зв'язка марки B2-01-1), а також технологія програмованого спікання в режимі керованих параметрів «температура–тиск–час». Основа композиту – металополімерна композиція сплаву Cu–Sn з різним вмістом компонентів, полімерна складова – фенольні смоли, що затвердівають при температурі порядку 180 °С.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Встановлення закономірностей формування двокаркасних металополімерних композитів з КПБ за умов їх програмованого спікання та пресування / А.О. Шепелев, В.І. Лавріненко, О.Г. Гонтар, В.М. Ткач, В.Т. Федоренко, В.О. Муровський // Резание и инструмент в технологических системах. – 2001. – Вып. 60. – С. 258–261.
2. Связка абразивного инструмента: А.с. 545457 СССР, МКИ2 В24Д 3/34, В24Д 3/06 / В.Н. Галицкий, В.А. Муровский, С.И. Лицинский, И.П. Захаренко, А.А. Шепелев (СССР). – Заявл. 13.12.74; Опубл. 05.02.77, Бюл. №5. – 2 с.
3. Термическое поведение полимерных смол и композитов применительно к шлифовальному инструменту из СТМ / А.А. Шепелев, В.И. Лавриненко, Л.Н. Лавриненко, А.Н. Давыдов // Сверхтв. материалы. – 1997. – № 5. – С. 67–72.
4. Шепелев А.А. К вопросу о создании шлифовального инструмента из СТМ на основе изучения термического поведения полимерных смол и наполненных композитов // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. науч.-техн. сб. – Харьков: ХГПУ. – 1998. – Вып. 52. – С. 217–221.

5. Шепелев А.А., Зубанева Е.Е. Работоспособность и эффективность шлифовальных кругов формы 11V9 из сверхтвердых материалов. // Надежность машин, механизмов, оборудования. – Киев: АТМ України, 2000. – С. 129–131.
6. Шепелев А.А., Лавриченко В.И., Давыдов А.М. Использование полимерных композитов для изготовления корпусов шлифовальных кругов из СТМ // Технология и оборудование для переработки полимерных материалов. – Киев: Общество «Знание» Украина, 1996. – С. 4–5.
7. Шепелев А.О., Лавриченко В.І. Вимоги до полімерних пресматеріалів щодо створення в Україні конкурентноздатного алмазного інструмента // Перспективи розвитку промисловості пластмас в Україні: Тези доповідей науково-технічної конф. – Львів: Державний університет «Львівська політехніка», 1995. – С. 92–93.
8. Шлифовальные круги формы 11V9-700 из КНБ для обработки инструментальных материалов / А.А. Шепелев, В.А. Муровский, В.Т. Федоренко, В.И. Лавриченко // Композиционные материалы в промышленности: Материалы 21 ежегодной Междунар. научно-технической конф., 21–25 мая 2001. – Ялта-К: УНЦ «Наука, техника, технология», 2001. – С. 151–152.

ШЕПЕЛЄВ Анатолій Олександрович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, заступник генерального директора з виробничої діяльності та інноваційного розвитку Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

Наукові інтереси:

- технологія абразивної обробки;
- інструменти з надтвердих матеріалів;
- вібраційне шліфування.

Тел.: (044) 430-35-18

E-mail: wheel@ism.kiev.ua

ДУБРОВА Олександр Євгенович – аспірант, молодший науковий співробітник Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

Наукові інтереси:

- інструменти з надтвердих матеріалів на полімерних зв'язках;
- композиційні матеріали.

Тел.: (044) 430-35-29.

E-mail: wheel@ism.kiev.ua

Подано 02.08.2003