

Так при увеличении производительности обработки со 100 до 500 мм<sup>3</sup>/мин: для инструмента из смеси АС6 125/100 50 % + КД500/400 50 % удельная мощность шлифования возрастает на 80%, а удельный расход увеличивается в 2,2 раза; для инструмента из смеси ВК125/100 50% + КД500/400 50 % удельная мощность шлифования возрастает на 85 %, а удельный расход увеличивается в 4,5 раза. В то время, как для инструментов с однокомпонентным абразивом из КД500/400 и ВК125/100 удельная мощность шлифования увеличиваются, соответственно, на 120% и 250%, а удельный расход в 8 и 6 раз.

Таким образом предварительные исследования показали, что добавление дробленого киборита в рабочий слой определенным образом структурирует его, изменяет эволюцию изменения профиля рабочего слоя в процессе обработки и изменяет закономерности влияния производительности обработки на удельную мощность шлифования и удельный расход СТМ.

*У статті розглянуто особливості обробки інструментом у якому у якості структуроутворюючого елементу у зв'язку додається дроблений кіборит. Показано, що додавання подробленого кібориту змінює еволюцію робочого шару у процесі обробки.*

**Ключові слова:** абразив, структуроутворюючий, кіборит.

*In article to a floor features of processing are considered by the tool in which for structure creation in a sheaf it is added crushed kiborit. It is shown that addition crushed kiborit changes evolution of a working layer in the course of processing.*

**Key words:** an abrasive, structure, kiborit.

#### Література

1. Лаврінченко В. І., Богатирьова Г.П., Нікітін Ю.І., Петасюк Г.А., Лещук І.В., Пасичний О.О., Ситник Б.В., Полторацький В.Г. Дослідження можливостей ефективного застосування для операцій доведення шліфпорошків з композиційних кубонітових ком пактів // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Вып. 12. – Киев: ИСМ им. В.Н.Бакуля НАН Украины, 2009. – С. 524–528.
2. Лавриненко В. И., Никитин Ю.И., Пасичный О.О., Сытник Б.В., Полторацкий В.Г. Эксплуатационные характеристики шлифовальных инструментов из компактов микропорошков КНБ // Резание и инструмент в технологических системах. – 2008. – Вып. 75. – С. 210–215.

*Поступила 05.07.11*

УДК 621.922.025

**О. О. Пасичный**, канд. техн. наук

*Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев, Украина*

#### МІКРОПРОФІЛЬ ПОВЕРХНІ ПРИ ОБРОБЦІ ІНСТРУМЕНТОМ З ВПОРЯДКОВАНИМ АБРАЗИВНИМ ШАРОМ

*У статті розглянуто питання формування мікропрофілю на обробленій поверхні при шліфуванні інструментом з впорядкованим розміщенням алмазних зерен. Розглянуто еволюцію мікропрофілю обробленої поверхні у разі використання впорядкованих композитів без перекриття і з перекриттям алмазовмісних шарів. Показано, що найбільш характерним показником обробки впорядкованими алмазами є розподіл матеріалу у шорсткому шарі (опорна крива), що саме і характеризує стан ріжучої поверхні композиту.*

**Ключові слова:** мікропрофіль, впорядкований, абразив.

Аналіз літератури, даних Інтернету та асортименту на виставках-конференціях виробників свідчить, що на ринку алмазного інструменту починають з'являтися алмазні круги нового покоління – з впорядкованим розташуванням різальних зерен ("Arrayed Diamond"). За оцінками виробників, доля нового інструменту вже в найближче майбутнє буде складати більше 10 % [1, 2]. Враховуючи, що такий інструмент, за рахунок кардинальної зміни процесу різання, дозволяє значно покращити

показники обробки [2], роботи спрямовані на вивчення і організацію виробництва шліфувального інструменту з впорядкованою структурою є важливими і актуальними.

Для дослідження обробки алмазними композитами з впорядкованими алмазами було виготовлено зразки абразивних композитів АС200 500/400-М2-01 із впорядкованим пошаровим розташуванням алмазів та із розташуванням вільною засипкою тієї ж кількості алмазів, у вигляді таблеток діаметром 35,6 мм та товщиною 4 мм. Таблетки закріплювалися на спеціальному корпусі круга 12А2-45 [3].

Під час обробки таким інструментом твердого сплаву ВК8 та інструментальної сталі Т5К6 на традиційних режимах обробки, як брикетами з впорядкованими так і хаотично розташованими алмазами, на оброблюємій поверхні утворювались сколи та прижоги. Вочевидь причиною цього є надто низька відносна концентрація алмазів у брикетах (4–5 %) і, як наслідок цього, інтенсивний контакт оброблюемого матеріалу із зв'язкою інструменту. Обробка з охолодженням суттєво ситуацію не поліпшила. Тому було прийняте рішення вести обробку із введенням в зону обробки додаткової енергії – імпульсів електричного струму (позитивний потенціал подавався на інструмент). При такій електроімпульсній обробці матеріал зв'язки більш інтенсивно зношується і, таким чином, поліпшуються умови різання у зоні обробки, а також більш інтенсивно змінюються шари абразивних брикетів. Збільшення відносних витрат алмазів у даному випадку не є недоліком, оскільки проводилось порівняння показників обробки впорядкованими і традиційними абразивами при однакових умовах обробки, а основна задача дослідів полягала встановити особливості обробки впорядкованими композитами, у тому числі при зміні шарів композиту внаслідок їх зношування.

Аналіз обробки показав, що інструмент з хаотичними алмазами, вже при продуктивності обробки  $100 \text{ мм}^3/\text{хв.}$ , призводить до появи дефектів на поверхні оброблюємих. Ефективна потужність шліфування складала  $N_{\text{эф.}} = 0,15 \text{ кВт.}$  При цьому обробка інструментом з впорядкованими алмазами дозволяє підняти продуктивність до  $300 \text{ мм}^3/\text{хв.}$  без появи дефектів на оброблюємій поверхні.

Поверхня композиту з хаотично розташованими зернами алмазу вкрита слідами контакту між оброблюємою поверхнею і зв'язкою інструменту, що й обумовлює появу дефектів обробки. Натомість поверхня композиту з впорядкованими зернами таких слідів не має, на поверхні композиту дуже добро видно сліди електро-іскрового впливу. Така картина пояснюється тип, що в інструменті з впорядкованими зернами усі зерна поверхневого шару виступають на однакову величину і всі вони приймають участь в механізмі знімання припуску, а це створює умови для утворення зазору між поверхнями інструменту і поверхнею, що обробляють. На рис. 1 показано поверхні композитів після обробки з продуктивністю  $100 \text{ мм}^3/\text{хв.}$

Обробка з охолодженням дозволила підняти продуктивність композиту з хаотичним розташуванням зерен до  $200 \text{ мм}^3/\text{хв.}$  ( $S_{\text{пр}} = 0,56 \text{ м/хв.}$ ) при  $N_{\text{эф.}} = 0,2 \text{ кВт.}$  При цьому обробка з охолодженням інструментом з впорядкованими алмазами при продуктивності  $400 \text{ мм}^3/\text{хв.}$  ( $S_{\text{пр}} = 1,2 \text{ м/хв.}$ ) при  $N_{\text{эф.}} = 0,4 \text{ кВт}$  не викликала появи дефектів на оброблюємих зразках також.

Аналогічну продуктивність обробки було досягнуто і використанням композиту з хаотично розташованими зернами у випадку, коли відносну концентрацію вмісту алмазів підняли до 16 % (приблизно у чотири рази). Інструментом з такою концентрацією обробку можна вести до досягнення продуктивності до  $300 \text{ мм}^3/\text{хв.}$  без появи дефектів обробки.

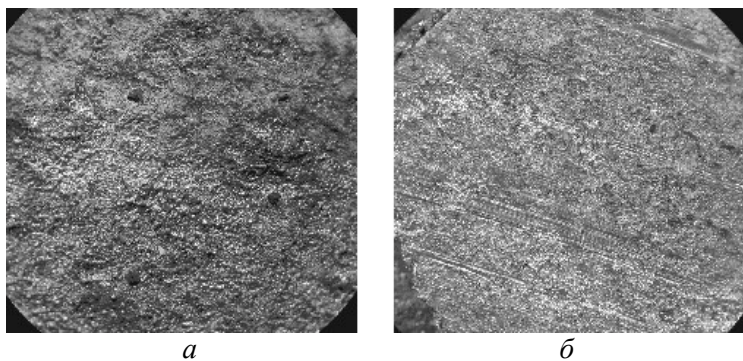


Рис. 1. Поверхня композитів після обробки: а – з впорядкованими алмазами; б– з хаотично розташованими алмазами

Однак найбільш характерні закономірності, у випадку інструменту з впорядкованими алмазами, було виявлено при подальшій обробці, під час зміни, шарів інструменту. В результаті проведених дослі-

джен було встановлено яскраво виражену залежність формованого на поверхні зразка мікропрофілю поверхні від величини зношування композита з упорядкованим розміщенням алмазних зерен (рис. 2).

При малому виступанні зерен алмазів формується нестабільний профіль характерний, зокрема, для шліфування засаленим абразивним інструментом (див. рис. 2, а). По мірі зношування зв'язування й збільшенні виступання профіль стає стабільним, характерним для шліфування (див. рис. 2, б), на поверхні зразка формується типова для шліфування сітка слідів обробки. Подальше оголення алмазних зерен призводить до формування регулярного стабільного мікропрофілю (див. рис. 2, в), характерного для обробки різанням. На даному етапі обробки дещо знижується ефективна потужність обробки і збільшується шорсткість обробки, поверхня обробляемого зразка має регулярний профіль без дефектів.

Далі висота виступання зерен досягає критичного значення ( $\frac{3}{4}$  від висоти зерна) і алмазні зерна починають інтенсивно випадати із зв'язки (див. рис. 2, г). У цей момент, внаслідок збільшення контакту між поверхнями зв'язки і обробляемого зразку, збільшується ефективна потужність обробки і тепловиділення в зоні обробки. На поверхні обробляемого зразку з'являються дефекти — прижоги, сколи, налипання зв'язки. Цей процес протікає дуже швидко, після чого процес обробки фактично припиняється, оскільки у приповерхневому шарі не залишається алмазів. Фактично в цей період лише поступово, завдяки електроімпульсній обробці, руйнується зв'язка. З появою на поверхні композиту зерен алмазів із наступного шару увесь вище описаний процес повторюється. Саме присутність у цьому процесі останнього етапу обумовлює високе значення відносної витрати алмазів (45,2 мг/г). Якщо розрахувати значення відносної витрати алмазів за перші три етапи зношування одного шару розташування алмазів, то вона буде становити 17,72 мг/г, що нижче ніж відносної витрати алмазів в аналогічних умовах у разі використання інструменту на основі композиту із хаотично розміщеними зернами (28,95 мг/г).

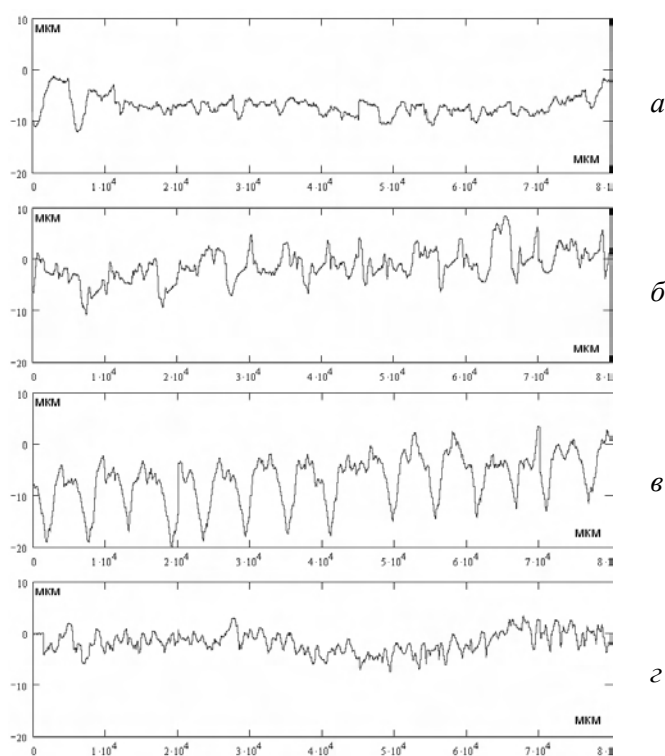


Рис. 2. Профілограми обробленої поверхні: а– перший етап — вскриття алмазів; б– обробка вскритими зернами; в – обробка високо виступаючими зернами алмазів; г – обробка при випаданні занадто виступаючих зерен

Таким чином, було експериментально встановлено істотну зміну формованого на деталі профілю обробленої поверхні, а значить й умов шліфування при використанні багат шарового спеченого композита з упорядкованим розташуванням алмазних зерен, синхронно із зношуванням шарів розміщення алмазів.

Виявлена закономірність істотно ускладнює можливість виготовлення ефективного інструменту із багат шаровим впорядкованим розташуванням алмазних зерен тому, що такий інструмент потребує періодичної правки після третього етапу зношування кожного шару зерен алмазів, а обробка

пов'язана з циклічною зміною основних показників процесу, зокрема продуктивності і ефективної потужності шліфування. Також циклічно змінюватись буде і мікропрофіль, який формується на поверхні деталі під час обробки.

Для уникнення таких вад інструменту с багат шаровим впорядкованим розміщенням алмазів було проведено ряд досліджень, результати якого дозволили отримати рішення запобігання небажаних явищ під час обробки таким інструментом.

Для цього було запропоновано шари алмазів розміщувати з перекриттям сусідніх шарів. Було розроблено технологію виготовлення такого абразивного композиту. На рис. 3 показані схеми розміщення шарів алмазів з перекриттям. Для виготовлення композитів способом пошарової укладки зерен алмазів у холодно брикетовані таблетку застосовувалась схема на рис. 3а, при якій шари перекриваються на величину  $h$  висоти алмазних зерен. Для монолітного виготовлення абразивного композиту з пошаровим розміщенням зерен алмазів через сепаратор у процесі заповнення прес-форми шихтою застосовували схему на рис. 3б, при якій шари розміщення алмазів перекриваються на половину висоти алмазних зерен.

Тобто максимальна продуктивність, без появи дефектів на оброблюємії поверхні, складала до  $300 \text{ мм}^3/\text{хв.}$  при  $N_{\text{эф.}} = 0,3 \text{ кВт}$ , для обробки без охолодження, а з охолодження —  $400 \text{ мм}^3/\text{хв.}$  при  $N_{\text{эф.}} = 0,4 \text{ кВт}$ .

Основна відмінність роботи інструментом на основі впорядкованого шаруватого композиту полягає в іншій закономірності формування мікропрофілю обробки під час зношування шарів розташування алмазних зерен – мікропрофіль оброблюваної поверхні, за умов обробки таким композитом, циклічно змінюється більш плавно, аніж у випадку з композитом із неперекриваючимися шарами, і, при цьому, характер такого профілю формується проміжним – регулярно-стохастичним. На рис. 4 представлено профілограми поверхні обробленої шаруватим композитом із перекриттям шарів розташування алмазних зерен, опорні криві профілю та вигляд обробленої поверхні для відповідних етапів зношування одного шару композиту. Як видно з цього рисунку в основному зміна мікропрофілю синхронно із етапами зношування шарів композиту пов'язана не зі зміною висоти мікропрофілю (як це є у разі використання композиту із неперекриваючимися шарами), а зі зміною характеру опорної кривої мікропрофілю.

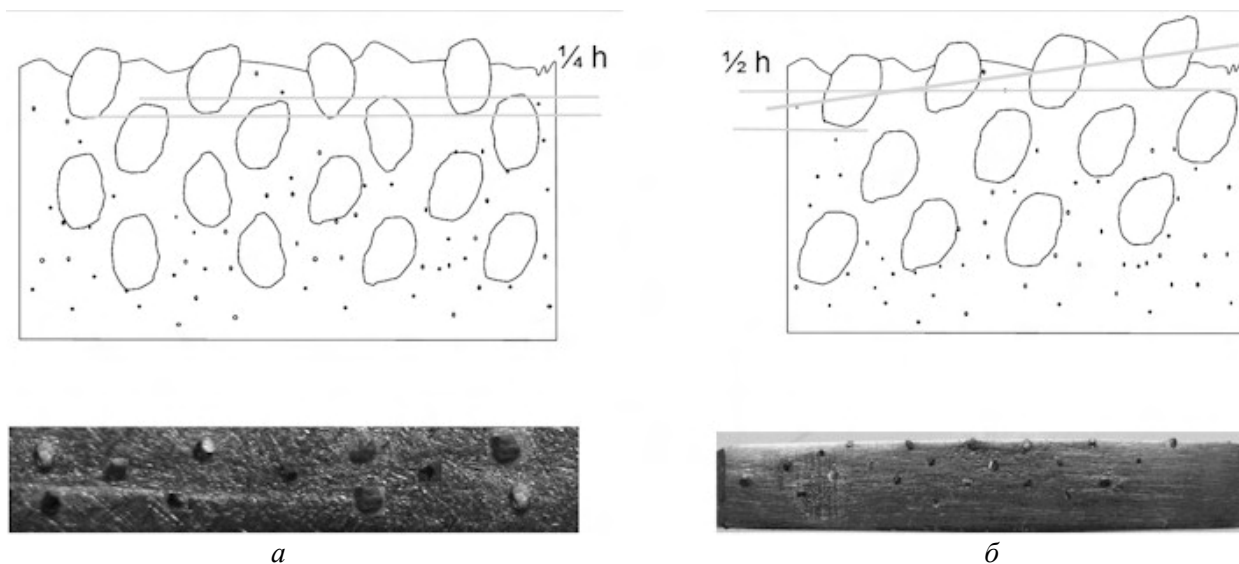


Рис. 3. Схеми розміщення алмазноносних шарів з перекриттям і переріз таких композитів: а– для пошарового брикетування; б – для монолітно виготовлених брикетів

Аналізуючи отримані показники можна відмітити, що за висотними та кроковими показниками після обробки суттєвої різниці між абразивними композитами різної впорядкованості не виявлено, а ось розподіл матеріалу у шорсткому шарі (опорна крива), що саме і характеризує стан ріжучої поверхні композитів відрізняється суттєво. У випадку впорядкованого розташування алмазів спостерігається рівномірний мікрорельєф із показниками опорної кривої  $t_{20} = 3,86 \%$  та  $t_{50} = 71,73 \%$ . У випадку випадкового розташування алмазів мікрорельєф є нерівномірним із наявністю підвищених висотних випадів матеріалу. Як наслідок, опорна крива формується загостреною і, хоча показник  $t_{20}$  дещо підвищується до  $5,34 \%$ , але показник  $t_{50}$  досягає лише  $26,62 \%$ . Наявність електроерозійного впливу

сприяє в цілому покращенню рівномірності мікрорельєфу в обох випадках. Показники  $t_{20}$  та  $t_{50}$  майже співпадають – 10,42 % і 59,42 % для впорядкованих алмазів та 12,08 % і 57,94 % для хаотично розташованих. А ось висотні показники відрізняються більш як в 2 рази ( $R_{\max} = 4,91$  мкм для хаотично розташованих і  $R_{\max} = 12,73$  мкм для впорядкованих алмазів у робочому шарі), що свідчить про кращу (більш як в 2 рази) абразивну здатність впорядкованих абразивних композитів.

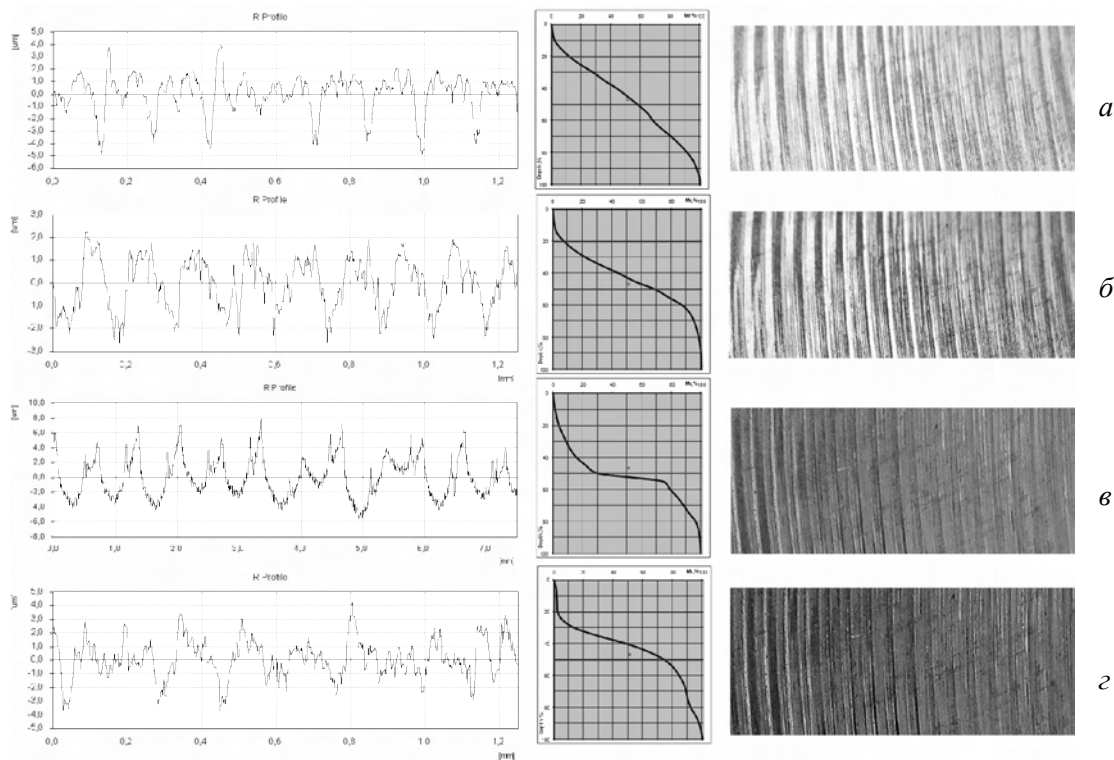


Рис. 4. Профілограми поверхні обробленої шаруватим композитом із перекриттям шарів розташування алмазних зерен, опорні криві профілю та оброблена поверхня: а – перший етап вскриття алмазів; б – обробка вскритими зернами; в – обробка високо виступаючими зернами алмазів; г – обробка при випаданні занадто виступаючих зерен

### Висновки

1. Встановлено, що найбільш характерним показником обробки впорядкованими алмазами є розподіл матеріалу у шорсткому шарі. У випадку впорядкованого розташування алмазів спостерігається рівномірний мікрорельєф із показниками опорної кривої  $t_{20} = 3,86$  % та  $t_{50} = 71,73$  %. У випадку випадкового розташування алмазів мікрорельєф є нерівномірним із наявністю підвищених висотних випадів матеріалу. Наявність електроерозійного впливу сприяє в цілому покращенню рівномірності мікрорельєфу в обох випадках.

2. Вперше досліджено абразивну здатність спеченого композиту в інструменті з пошарово-впорядкованим розміщенням алмазних зерен та встановлені закономірності зміни показників обробки, зокрема шорсткості обробленої поверхні, в процесі зношування такого інструменту, коли у відповідності із поступовою зміною шарів алмазів відбувається циклічна зміна висотних параметрів шорсткості. Характер мікропрофілю при цьому також циклічно змінюється від стохастичного (характерного для різання великою кількістю зерен) до регулярного (характерного для різання одиничним зерном) і навпаки.

3. Встановлені умови впорядкованості робочого шару композиту, для яких діапазон зміни висотних показників шорсткості при обробці пошарово-впорядкованим інструментом є мінімальним. Для цього, у шаруватому абразивному композиті шари розташування алмазних зерен повинні бути зміщені між собою не тільки у горизонтальному напрямку, але і вертикальному, причому в останньому таким чином, щоби шари перекривалися на четверть величини зернистості алмазів. Мікропрофіль обробленої поверхні, за умов обробки таким композитом циклічно змінюється більш плавно, ніж у випадку з композитом із неперекриваючимися шарами, і, при цьому, характер такого профілю формується проміжним – регулярно-стохастичним.

*В статье рассмотрен вопрос формирования микропрофиля на обработанной поверхности при шлифовании инструментом с упорядоченным размещением алмазных зерен. Рассмотрена эволюция микропрофиля обработанной поверхности в случае использования упорядоченных композитов без перекрытия и с перекрытием алмазосодержащих слоев. Показано, что наиболее характерным показателем обработки упорядоченными алмазами является распределение материала в шероховатом слое (опорная кривая), что именно и характеризует состояние режущей поверхности композита.*

**Ключевые слова:** микропрофиль, упорядоченный, абразив.

*In article the question of formation of a microprofile on the processed surface is considered at grinding by the tool with the ordered placing of diamond grains. Evolution of a microprofile of the processed surface in case of use of the ordered composites without overlapping and with overlapping of layers is considered. It is shown that the most typical indicator of processing by the ordered diamonds is material distribution in a rough layer (a basic curve) what exactly characterizes a condition of a cutting surface of a composite.*

**Key words:** microprofile, ordered, abrasive.

### Література

1. Study for cutting performance in arrayed diamond saw blade / S.P.Pyun, H.W.Lee, J.H.Park // 1st International Industrial Diamond Conference 20–21 October 2005 Barcelona Spain.
2. G. Weber and C. Weiss. DIAMIX – A family of bonds based on DIABASE-V21// Industrial diamond review. – 2005. – № 6. – P. 27–28
3. Лавриненко В. И., Пасичный О. О., Сытник Б.В., Девицкий А.А. Исследование особенностей спеченного композита с упорядоченной структурой // Процеси механічної обробки в машинобудуванні / Зб. наук. праць ЖДТУ. – Житомир: ЖДТУ, 2009. – Вип. 7. – С. 105–113.

*Надійшла 05.07.11*

УДК 621.921

**С. А. Кухаренко**, канд. техн. наук

*Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев, Украина*

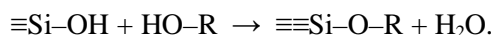
### ПОВЫШЕНИЕ АДГЕЗИИ В СИСТЕМЕ СТЕКЛОПОКРЫТИЕ – ОРГАНИЧЕСКАЯ СВЯЗКА

*Изучен метод повышения адгезионной активности стеклопокрытий. Показано, что этот метод повышает прочность закрепления агрегатов в инструментах на органических связках и стойкость кругов в 1,2 раза.*

**Ключевые слова:** адгезия, стеклопокрытия, органическая связка.

Для получения эффективного инструмента из СТМ недостаточно, чтобы покрытие прочно соединялось с абразивными частицами. Необходимо, чтобы оно также прочно скреплялось со связкой. В противном случае при работе инструмента агрегаты будут вырываться из связки.

Порошки СТМ со стеклопокрытием применяют в основном для изготовления инструмента на органических и металлических связках [1, 2]. На поверхности стеклопокрытия, как и любого силикатного стекла, находятся гидроксильные группы, структурно связанные с тетраэдрами кремнеборокислородного каркаса. Прочность связи таких групп со стеклом довольно высокая. Эти особенности состояния поверхности стекла обуславливают то, что фенолформальдегидное связующее, являющееся основой органических связок, взаимодействует с гидроксильными группами стекла с образованием химических связей по реакции



В результате установления химических связей на межфазной границе обеспечивается высокая смачиваемость стекол фенолформальдегидными смолами. Например, краевой угол смачивания на-