

РОЗДІЛ 1 ПРОЦЕСИ ТА ІНСТРУМЕНТИ МЕХАНООБРОБКИ

УДК 621.923

Грабченко А.И., Доброскок В.Л., Пыжов И.Н., Федорович В.А.
НТУ «ХПИ», Харьков, Украина

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОПОРОШКОВ АЛМАЗА В КРУГАХ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СВЯЗКАХ

Постановка проблемы. По данным многих исследователей [1], [2], [3] одним из наиболее перспективных методов формообразования лезвийных инструментов и др. изделий из поликристаллических сверхтвёрдых материалов (ПСТМ) в настоящее время по-прежнему остается шлифование кругами на основе шлифпорошков алмаза. Его эффективность остается существенной даже применительно к черновым стадиям обработки т.к. значения производительности процесса и расхода кругов имеют приемлемые значения. Однако с позиции экономии самих PSTM этот метод, конечно же, не совершенен.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследования последних лет показали, что резерв повышения эффективности формообразования лезвийных инструментов из PSTM лежит в области использования кругов на основе микропорошков алмаза [4], [5], [6]. Однако при этом еще более обостряется известное противоречие между размером зерен и прочностью их удержания в связке круга. А это в первую очередь существенным образом сказывается на значении удельного расхода алмазов. Установлено, что одним из путей повышения эффективности использования зерен микропорошков алмаза в кругах является нанесение на них толстослойных металлических покрытий.

Цель исследования. Целью настоящей работы является установление некоторых особенностей использования микропорошков алмаза с толстослойными рельефными металлическими покрытиями в кругах на прочных металлических связках.

Основные материалы исследования. Применительно к условиям обработки PSTM токопроводящими кругами на основе микропорошков алмаза особый интерес представляют покрытия, толщина которых может достигать половины размера покрываемого зерна. Теоретические основы получения таких покрытий уже разработаны, а сама технология нанесения достаточно хорошо отработана практически [7], [8]. Наиболее распространенным является покрытие с 56% содержанием никеля, однако по требованию заказчика процент содержания металла может быть изменен. Отмеченная технология допускает получение рельефных покрытий. При этом имеется возможность управления степенью рельефности поверхности зерен (рельефные, бархатные и гладкие).

Модель алмазного зерна с покрытием с достаточной степенью точности можно представить, например, в виде шара с гармонической поверхностью (рис. 1), уравнение которого в сферических координатах имеет вид:

$$\rho(\varphi, \theta) = \frac{Z_{\text{исх.ср.}}}{2} \cdot (1 + k_t) \cdot [1 + k_A \cdot \sin(n\varphi) \cdot \cos(n\theta)],$$

где ρ - длина радиус-вектора, φ и θ - зенитный и азимутальный углы соответственно;

k_t - относительный коэффициент средней толщины покрытия (отношение средней толщины покрытия к среднему размеру исходного алмазного зерна $Z_{\text{исх.ср.}}$);

k_A - относительный коэффициент амплитуды изменения толщины покрытия;

n - количество выступов в осевом сечении.

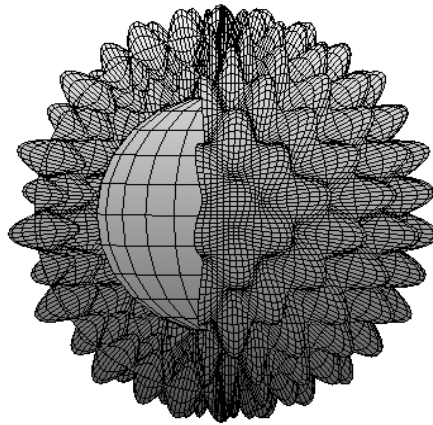


Рис. 1 – Модель алмазного зерна с металлическим рельефным толстослойным покрытием

Использование на алмазных зернах рельефных толстослойных металлических покрытий позволяет существенно продлить их режущий ресурс. Этого объясняется с одной стороны более прочным сцеплением материала покрытия с поверхностью алмаза по сравнению с компонентами связки, а с другой существенным увеличением поверхности контакта покрытого зерна со связкой круга. Как уже отмечалось, это особенно важно для мелкозернистых кругов, т. к. увеличение удельного расхода алмазов кругов с уменьшением размера зерен является установленным фактом.

Как видно из схемы, представленной на рис. 2, за счет использования покрытия на алмажном зерне можно добиться увеличения глубины его заделки в связке на величину X , которая численно равняется толщине покрытия. Таким образом, в случае применения рельефных толстослойных покрытий часть покрытого зерна, заделанная в связке, может достигать значительной величины и при условии, что $Z_{\text{покр.}} \approx 2 \cdot Z_{\text{исх.}}$ она может равняться

$X = \frac{Z_{\text{исх.}}}{2}$, т.е. может играть самостоятельную роль в процессе удержания зерна в связке. С

определенной долей уверенности можно предположить, что даже в случае разрушения зерно, находясь в металлической оболочке, будет удерживаться покрытием и какое-то время продолжать выполнять полезную работу по съему припуска с ПСТМ.

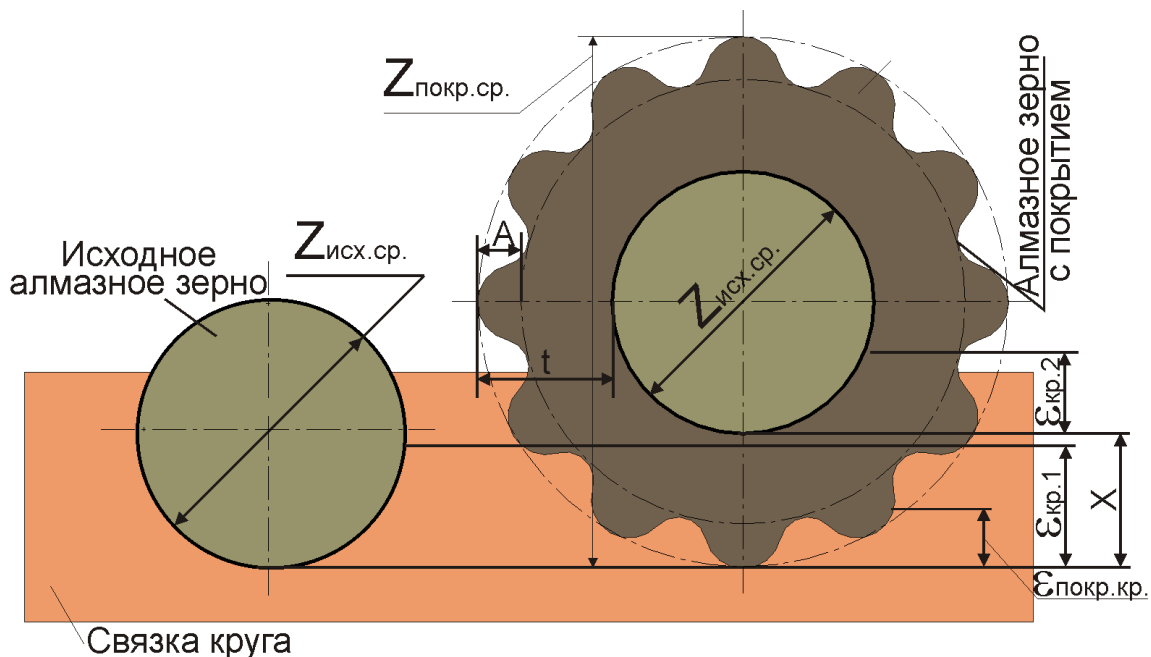


Рис. 2 – К обоснованию роли покрытий на алмазных зернах

Это должно положительно сказаться на коэффициенте использования алмазных зерен, что для зерен микропорошков алмаза является весьма существенным фактом.

Если же толстослойное покрытие будет рельефным, то это приведет к еще большему увеличению площади поверхности зерна вообще и соответственно той ее части, которая заделана в связке. Кроме этого по сравнению с покрытиями той же величины с гладкой поверхностью условия механического закрепления зерна существенно улучшаются. Это позволяет более равномерно распределить нагрузку, действующую на зерно при резании, и тем самым существенно снизить величину его критической заделки в связке ($\varepsilon_{кр.2} < \varepsilon_{кр.1}$, $\varepsilon_{покр.} < \varepsilon_{кр.1}$, $\varepsilon_{кр.2} \rightarrow \min$, рис. 2).

Поскольку покрытое зерно больше исходного ($Z_{покр.} = Z_{исх.} + 2 \cdot t$, где t – толщина покрытия), то даже с учетом одной возможности размещения зерен с покрытием в алмазоносном слое их исходная навеска (до нанесения покрытия) должна быть соответствующим образом уменьшена.

Если принять, что размер покрытого зерна должен примерно равняться ближайшему стандартному размеру ($Z_{покр.} \approx Z_{станд.}$), то в первом приближении можно принять, что и их количество в единице объема алмазоносного слоя круга тоже должно быть одинаковым, т.е. $n_{покр.} \approx n_{станд.}$. А это должно привести к уменьшению массы навески исходного микропорошка, т.е. к снижению реальной концентрации алмазных зерен в круге. В таблице представлено примерное соответствие между стандартной зернистостью и зернистостью зерен микропорошков алмаза с толстослойным покрытием (для случая, когда $X = \frac{Z_{исх.}}{2}$).

Таблица 1

Примерное соответствие между стандартной зернистостью и зернистостью зерен микропорошков алмаза с толстослойным покрытием*

Исходные	$Z_{исх.}$	60/40	40/28	28/20	20/14	14/10
Покрытые	$Z_{покр.} \approx Z_{станд.}$	100/80	80/63	50/40	40/28	28/20

Если принять зерно в форме эллипсоида вращения, то исходную массу $M_{станд.}$ навески зерен имеющих зернистость $Z_{исх.}$ можно определить по формуле:

$$M_{исх.} = M_{станд.} \cdot \frac{Z_{исх.макс} \cdot Z_{исх.мин}^2}{Z_{станд.макс} \cdot Z_{станд.мин}^2} = M_{станд.} \cdot \frac{Z_{исх.макс}}{Z_{станд.макс}} \cdot \left(\frac{Z_{исх.мин}}{Z_{станд.мин}} \right)^2 \quad (1)$$

Если по аналогии концентрацию круга с покрытыми зернами обозначить как $K_{покр.}$, а без покрытия (исходные зерна) как $K_{исх.}$, то с учетом того, что $Z_{покр.} = Z_{исх.} + 2 \cdot t$ на основании (1) можно записать выражение, позволяющее определить необходимую концентрацию круга с покрытыми зернами и рассчитать по нему значения концентрации кругов в зависимости от толщины покрытия и зернистости микропорошков алмаза. Это выражение имеет вид:

$$K_{покр.} = K_{исх.} \cdot \frac{Z_{исх.макс}}{(Z_{исх.макс} + 2 \cdot t)} \cdot \left(\frac{Z_{исх.мин}}{Z_{исх.мин} + 2 \cdot t} \right)^2 \quad (2)$$

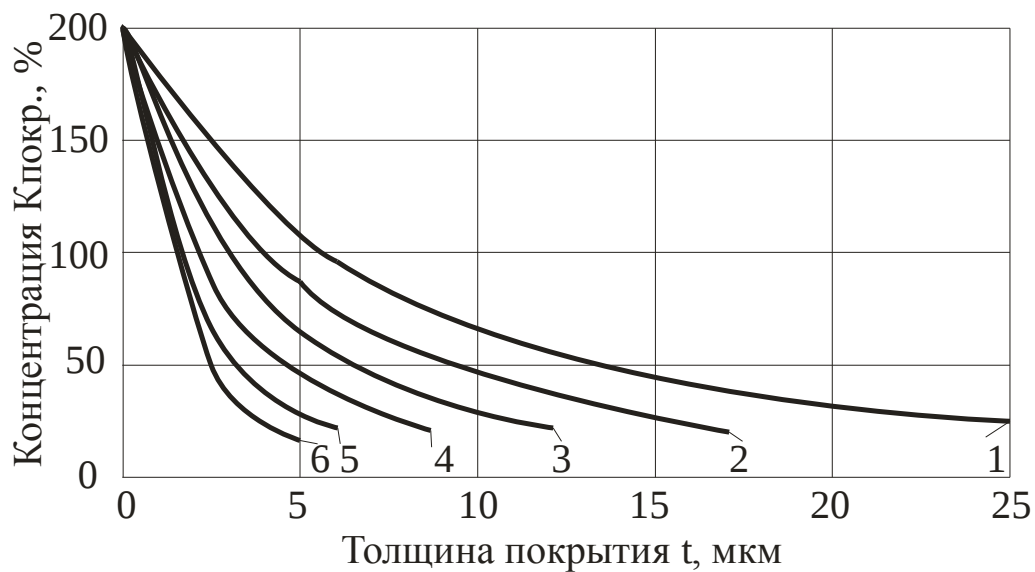
При этом за предельную исходную концентрацию алмазоносного слоя круга принималось ее значение, равное 200% (исходя из экспериментально установленной исследованиями В.Н. Бакуля с сотрудниками величины максимального заполнения

объема зернами алмаза, которая не превышает $\pi / \sqrt{40} \approx 0.5$ [9]. Графическая интерпретация зависимости (2) представлена на (рис. 3).

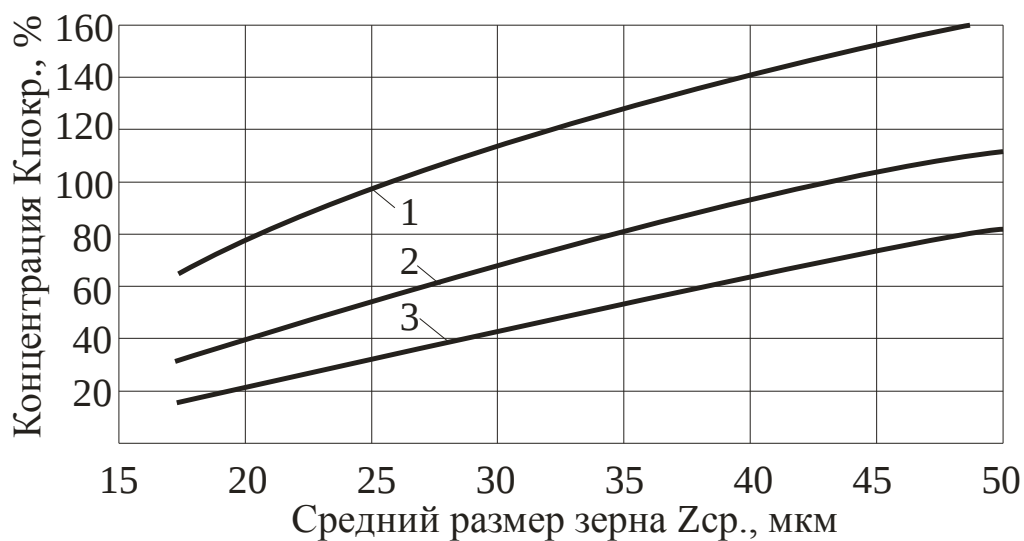
Роль характеристики алмазного круга (концентрация, зернистость и материал связки) при обработке ПСТМ, когда практически отсутствует внедрение алмазных зерен в ОМ, очень велика.

Особенно если влияние факторов имеет сложный характер. Так, например, увеличение до определенного уровня количества зерен в контакте с ПСТМ, как правило, способствует улучшению качества режущих кромок. Однако затем (по причине возрастания сил в зоне обработки) может привести к интенсификации процесса сколообразования на них.

С технологической точки зрения должно существовать оптимальное сочетание параметров характеристики алмазоносного слоя круга, обеспечивающее требуемого качество режущих кромок инструмента. В виду сложности явлений, протекающих в зоне шлифования, наиболее корректно оптимальная характеристика круга с покрытыми зернами может быть определена экспериментальным путем с учетом технического ограничения (2), учитывающего возможность размещения покрытых зерен в алмазоносном слое.



а)



б)

Рис. 3 – Зависимости $K = f(t, Z_{ср.})$ для зерен с покрытием

Толщина покрытия является очень важным параметром, величина которого сказывается на всех этапах жизненного цикла алмазного круга. На этапе подготовки шихты она оказывает влияние на возможность размещения в ней покрытых зерен, на этапе спекания алмазоносного слоя ее величина определяет целостность зерна, а на этапе шлифования она во многом определяет его режущий ресурс. Еще одним важным аспектом использования покрытий на зернах микропорошков алмаза является возможность избежать в процессе изготовления алмазоносного слоя круга такого отрицательного явления как агрегатирование зерен с образованием крупных конгломератов, что может отрицательно сказаться на качестве обработанной поверхности.

Использование методологии 3D моделирования напряженно-деформированного состояния алмазоносного слоя круга при спекании позволило установить, что прочность металлической и керамической связей должны согласовываться с прочностью спекаемых с ней алмазных зерен, а концентрация и зернистость последних оказывают существенное влияние на целостность зерен в спекаемом слое. Использование, например, алмазных кругов с концентрацией алмазов свыше 40% существенно затрудняет получение алмазоносного слоя, характеристика которого соответствовала бы расчетной [10]. Такие круги не способствуют реализации условий технологической устойчивости.

Известно [11], [12], [13], что и с точки зрения эффективности процесса шлифования ПСТМ и, особенно на основе алмаза, оптимальная концентрация круга должна быть меньше 100% и может быть определена расчетно-экспериментальным методом.

Известно, что чем выше прочность зерна (в зависимости от его марки), тем большей (с точки зрения сохранения исходной характеристики круга) может быть их концентрация в алмазоносном слое круга [14], [15]. В отличие от кругов на основе шлифзерен алмаза в случае использования микропорошков алмаза нет возможности выбора марки зерна, т.к. из двух существующих только одна марка рекомендуется для обработки алмаза – АСН (микропорошок повышенной абразивной способности). Однако одним из достоинств микропорошков является наличие гораздо меньшего количества металлических включений в их составе по сравнению со шлифзернами, например марки АС6, что предопределяет в них и меньшую величину внутренних напряжений при высокотемпературном спекании алмазоносного слоя. Можно предположить, что прочность зерен микропорошка можно изменять путем выбора толщины покрытия. Это даст возможность увеличить значение концентрации алмазов в алмазоносном слое круга, если этому не препятствует техническое ограничение (2).

Известно, что при обработке труднообрабатываемых материалов зачастую требуется значение концентрации алмазного круга меньшее, чем 100%. При изготовлении изделий из стекла, например, это диктуется необходимостью размещения продуктов диспергирования в межзеренном пространстве, в случае формообразования изделий из ПСТМ ограничением является силовая напряженность процесса шлифования. Эти факторы можно считать благоприятными с точки зрения использования шлифовальных кругов с покрытыми зернами. Особенно это относится к микропорошкам алмаза, если учитывать количество зерен в одном карате [16], а, следовательно, в алмазоносном слое круга и на единице площади его рабочей поверхности. Согласно данным, изложенным в работе [17], число зерен на единице площади РПК можно определить по формуле:

$$n = \frac{3 \cdot K}{200 \cdot \pi \cdot a^{3/2} \cdot (0,96 \cdot \bar{x}_m)^2}, \quad (3)$$

где n - число зерен $шт / мм^2$; K - концентрация круга, %; $a = 0,6-0,8$ – коэффициент формы зерна; $\bar{x}_m$ - средний размер зерна, мм.

Расчеты по зависимости (3) показывают (рис. 4), что вынужденное снижение концентрации кругов на основе микропорошков алмаза с покрытиями с учетом ограничения (2) компенсируется ростом количества зерен по сравнению с кругами на основе шлифпорошков.

Так, например, при концентрации зерен с покрытиями $K_{\text{покр.}} = 25\%$ их число на единице площади РПК при зернистости $Z = 20/14$ будет значительно выше, чем у круга на основе шлифпорошков без покрытия, причем самой мелкой зернистости (50/40), имеющего концентрацию 100%.

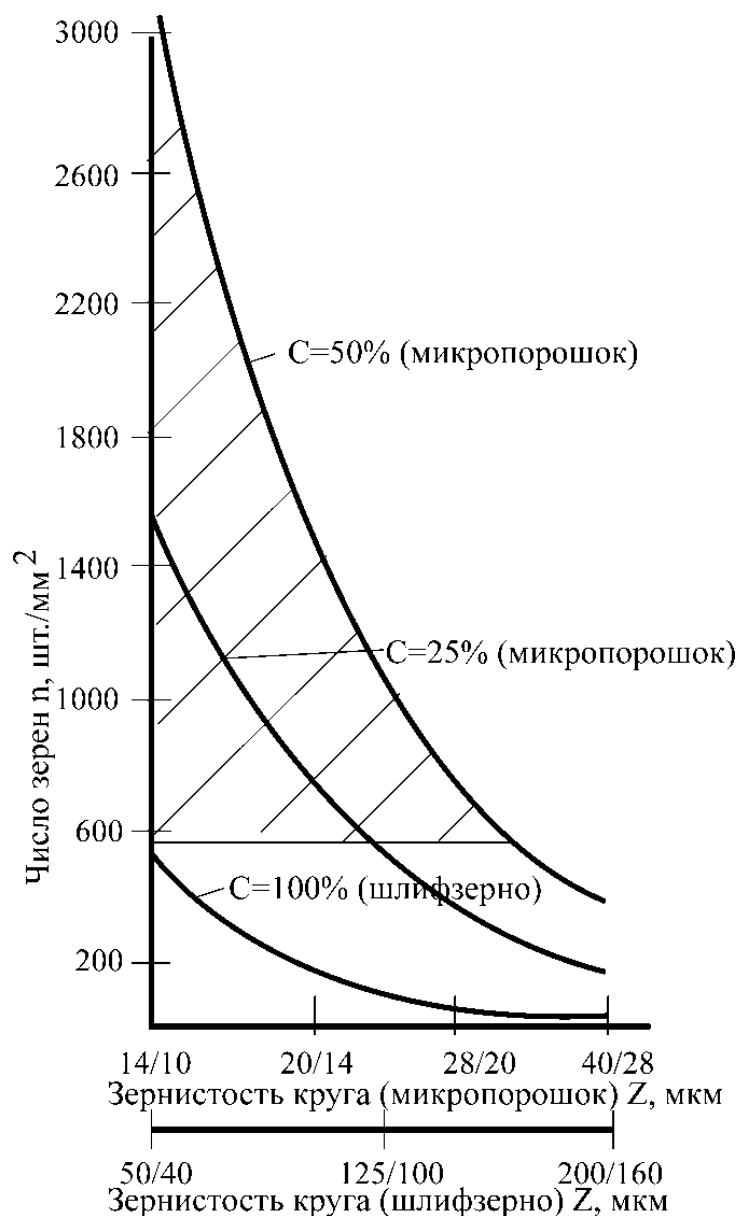


Рис. 4 – Графики зависимости $n = f(Z)$

С целью установления физических особенностей в зонах контакта покрытого зерна со связкой и обрабатываемым ПСТМ и выявления на этой основе возможных резервов процесса шлифования были выполнены теоретико-экспериментальные исследования НДС системы «связка круга - алмазное зерно – рельефное толстослойное покрытие - обрабатываемый материал» с учетом наличия металлофазы в зерне. Расчеты показали, что наличие металлического покрытия на алмазном зерне вносит существенные коррективы в НДС этой системы.

В частности установлено, что наличие на алмазном зерне рельефного толстослойного покрытия при тех же условиях термостатического нагружения системы существенно уменьшает величину напряжений на границе «зерно-связка» (рис. 5), что можно объяснить значительным увеличением поверхности контакта покрытого зерна со связкой круга. Это является подтверждением факта лучшего удержания зерен в связке, а, следовательно, повышения их режущего ресурса.

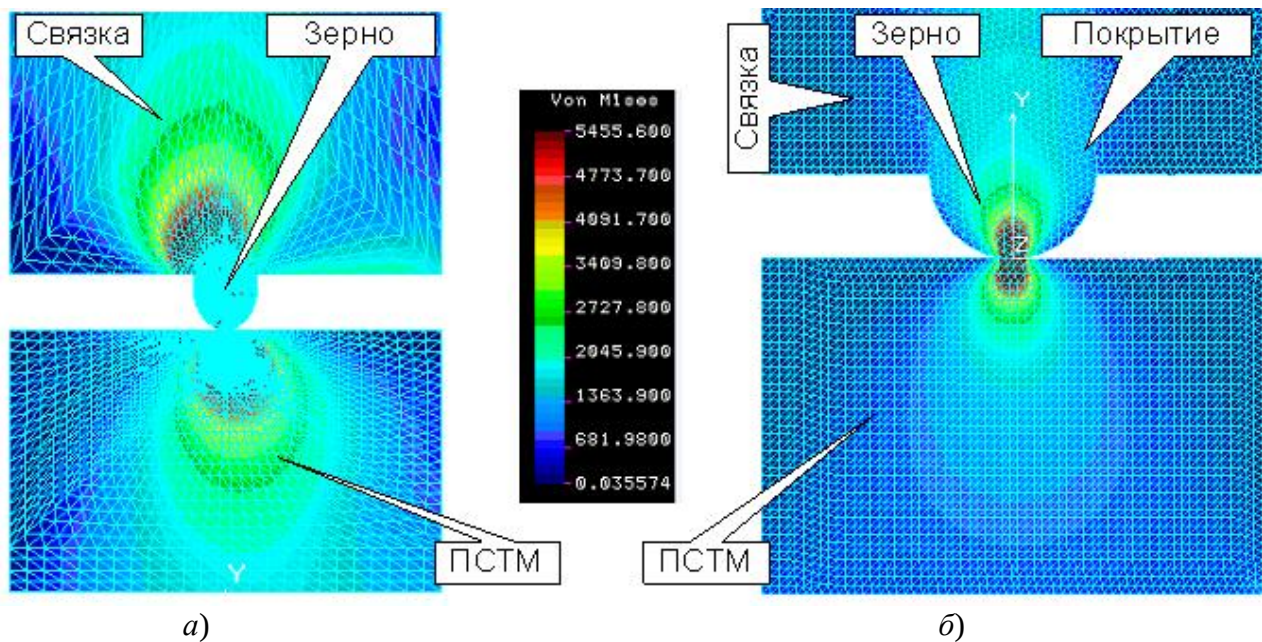


Рис. 5 – Визуализация влияния покрытия на 3D НДС систем
а) без покрытия; б) с покрытием на основе Ni (Z=20/14).

Вместе с тем полученные данные позволили установить еще один очень существенный момент, который заключается в том, что наличие рельефных толстослойных покрытий способствует созданию повышенных напряжений в обрабатываемом материале. Это также объясняется увеличением поверхности контакта покрытого зерна со связкой круга, в результате чего возрастает жесткость системы «связка – зерно – обрабатываемый материал».

Это обстоятельство имеет исключительное значение, если учитывать тот факт, что в условиях отсутствия внедрения алмазного зерна в обрабатываемый сверхтвердый материал сьем припуска происходит за счет хрупкого микроразрушения ПСТМ. А для этого необходима реализация в основном двух важнейших условий: наличие на зерне острых микро - и субмикроромок с одной стороны и усилия определенной величины с другой.

Как было установлено в работе [13], такой фактор как жесткость связки круга способствует увеличению давления в контакте алмазного зерна с ПСТМ. В данных же условиях роль связки проявляется в еще большей степени. При этом такие факторы, как толщина и прочность покрытия, способствуют сдерживанию процесса макроразрушения алмазного зерна, т.к. реализуют эффект более прочного его «обжаривания». Последнее обстоятельство благоприятно отражается на интенсификации съема припуска с обрабатываемого ПСТМ.

Экспериментальные исследования подтвердили факт существенного снижения удельного расхода зерен микропорошков алмаза с толстослойными рельефными металлическими покрытиями, значение которого приближается до уровня кругов на основе шлифпорошков алмаза.

Выводы

Таким образом, на основании теоретического анализа, изложенного выше, можно констатировать факт не только возможности, но и целесообразности использования на зернах микропорошков алмаза рельефных толстослойных металлических покрытий. Это позволяет технически достаточно просто разрешить отмеченное выше противоречие между необходимостью снижения размеров зерен и прочностью их удержания в связке круга.

Літератури: 1. Грабченко А. И. Научные основы алмазного шлифования сверхтвердых поликристаллических материалов: дис. в форме научного доклада докт. техн. наук: 05.03.01 / Грабченко Анатолий Иванович. - Харьков, 1995. - 59 с. 2. Доброскок В.Л. Научные основы формирования рабочей поверхности кругов на токопроводных связках в процессе шлифования: дис...докт. техн. наук: 05.03.01 / Доброскок Владимир Ленинмирович. - Харьков: - 2001. - 447 с. 3. Хрульков В.А. Алмазные инструменты в прецизионном приборостроении / Хрульков В.А., Головань А.Я, Федотов А. И. - М.: Машиностроение, 1977. - 223 с. 4. Особенности применения токопроводящих кругов на основе микропорошков алмаза при заточке лезвийных инструментов из ПНТМ / Грабченко А.И., Доброскок В.Л., Федорович В.А., Пыжов И.Н., Гаращенко Я.Н. // Вестник национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Машиностроение.-К.: 2008.- Вип. 52.-С. 384–397. 5. Теоретическое обоснование эффективности использования микропорошков в алмазных кругах на металлических связках / Пыжов И.Н., Федорович В.А., Русанов В.В., Калита И.Н. // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб.–Харьков: 2008.-Вып.74.-С. 258-266. 6. Теоретическое обоснование эффективности использования металлических покрытий на микропорошках в алмазных кругах на металлических связках / Грабченко А.И., Пыжов И.Н., Федорович В.А., Калита И.Н. // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб.–Харьков: 2008.-Вып.75.-С. 77-85. 7. Гринь Г.И. Изучение процесса осаждения соединений марганца и никеля из водных растворов / Гринь Г.И., Козуб П.А., Семенов Е.А // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»/ – Харків: НТУ «ХПІ» – 2004. - № 14. -С.18 – 21. 8. Методы определения показателей качества никелевого покрытия / Гринь Г.И., Козуб П.А., Мухина Л.В., Дробног И.Н. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2006. – № 12. – С. 90 – 94. 9. Бакуль В.Н., Взаимодействие алмаза с расплавами металлов в условиях изготовления инструментов / Бакуль В.Н., Цыпин Н.В., Гаргин В.Г. // В кн.: Адгезия расплавов. – К.: Наук. Думка, 1974. – С. 134-136. 10. Расширение технологических возможностей изготовления алмазно-абразивных инструментов / Грабченко А.И., Федорович В.А., Пыжов И.Н., Русанов В.В. // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ «ХПІ».- Харків, 2008. - Вип.1 (14). - С.88 - 98.11. Грабченко А.И. Расширение технологических возможностей алмазного шлифования / Грабченко А.И. - Харьков: Вища шк., 1985. - 184 с. 12. Грабченко А.И. Роль концентрации алмазов в круге при шлифовании поликристаллов сверхтвердых материалов / Грабченко А.И., Федорович В.А., Образков Б.В // Сверхтвердые материалы.- 1984.-Вып.1.-С. 49-52. 13. Федорович В.А. Разработка научных основ и способов практической реализации управления приспособляемостью при алмазном шлифовании сверхтвердых материалов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.01 / Федорович Владимир Алексеевич. – Харьков: - 2002. – 466 с. 14. Козакова Н.В. Определение рациональных характеристик алмазных кругов путем 3D моделирования процессов их изготовления и шлифования сверхтвердых материалов: дис... канд. техн. наук: 05.03.01 / Козакова Наталья Витальевна. - Харьков, 2004. - 210 с. 15. Козакова Н.В. 3D моделирование при определении оптимальных характеристик алмазных кругов / Козакова Н.В., Наконечный Н.Ф., Федорович В.А // Високі технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2004. – Вип. 1(8). – С. 81-86. 16. Бакуль В. Н. Число зерен в одном карате — одна из важнейших характеристик алмазного порошка / Бакуль В. Н. // Синтетические алмазы. - 1976. - Вып. 4. - С. 22-27. 17. Резников А.Н. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справочник /

Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць.

Резников А.Н., Алексенцев Е.И., Барац Я.И. и др.; под ред. А.Н. Резникова. - М.: Машиностроение, 1977. - 391 с.

Рецензент: Гузенко В.С., к.т.н., проф. ДГМА

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МІКРОПОРОШКІВ АЛМАЗУ В КРУГАХ НА МЕТАЛЕВИХ ЗВ'ЯЗКАХ

Грабченко А.І., Доброскок в.л., Пижов І.Н., Федоровіч В.А.

Розглянуті деякі питання, пов'язані з можливістю підвищення ефективності процесу формоутворення лезових інструментів з полікристалічних надтвердих матеріалів алмазним шліфуванням.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОПОРОШКОВ АЛМАЗА В КРУГАХ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СВЯЗКАХ

Грабченко А.И., Доброскок В.Л., Пыжов И.Н., Федорович В.А.

Рассмотрены некоторые вопросы, связанные с возможностью повышения эффективности процесса формообразования лезвийных инструментов из поликристаллических сверхтвердых материалов алмазным шлифованием.

FEATURES OF THE USE OF MIKROPOROSHOKOV OF DIAMOND IN CIRCLES ON METALLIC COPULAS

Grabchenko A.I., Dobroskok V.L., Pyzhov I.N., Fedorovich V.A.

Some questions related to possibility of increase the efficiency of the formation process of lathe instruments made of polycrystalline superhard materials by means of diamond grinding are considered.

Ключевые слова: Микропорошок, алмаз, круг, связка, материал, шлифование.

Ключові слова: Мікропорошок, алмаз, круг, в'язка, матеріал, шліфування.

Key words: Mikroporoshok, diamond, circle, copula, material, polishing.