

¹В.А. Коваль, д-р техн. наук, ²В.А. Федорович, д-р техн. наук, ²И.Н. Пыжов, д-р техн. наук

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК АЛМАЗНЫХ КРУГОВ НА ЭТАПАХ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

1- Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, turbogaskoval1@rambler.ru

2- Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
fedorovich@kpi.kharkov.ua

Рассмотрены вопросы, связанные с повышением эффективности процесса алмазного шлифования труднообрабатываемых материалов за счет оптимизации характеристики алмазоносного слоя круга. Эта задача решена на базе использования методологии 3D моделирования по методу конечных элементов.

The issues related to improving the efficiency of diamond grinding hard materials by grinding by optimizing the characteristics of the diamond layer circle. This problem is solved on the basis of methodology use 3D modeling for the finite element method.

Проблема повышения эффективности изготовления и использования прецизионного алмазно-абразивного и лезвийного инструмента из алмазных композиционных материалов (АКМ) остается в настоящее время актуальной, что способствует улучшению экспертных возможностей инновационной продукции. Одним из путей решения отмеченной проблемы является использование методология 3D моделирования отмеченных процессов. Методология основана на расчетах методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния (НДС) зоны спекания алмазно-абразивных инструментов и зоны шлифования (в том числе заточки и доводки прецизионных алмазных лезвийных инструментов). При этом без длительных, трудоемких и дорогостоящих экспериментальных исследований расчетным путем можно определить рациональный состав алмазоносного слоя круга и физико-механические свойства входящих в него компонентов (связка круга, зернистость, концентрация алмазных зерен и др.), а также рациональную конструкцию круга, например, для сверхскоростного шлифования и др.

Отмеченная методология включает следующие этапы: 1 – трехмерное компьютерное моделирование НДС в процессе спекания алмазоносного слоя для определения условий, при которых сохраняется целостность алмазных зерен; 2 – трехмерное компьютерное моделирование НДС зоны шлифования с целью определения рациональных условий обработки; 3 – трехмерное компьютерное моделирование НДС в процессе правки абразивных кругов алмазным инструментом; 4 – трехмерное исследования параметров топографии рабочей поверхности кругов и обработанной поверхности методом лазерного сканирования; 5 – трехмерное моделирование процесса заточки лезвийного инструмента из АКМ с целью определения условий его безотказной работы; 6 – трехмерное компьютерное моделирование НДС зоны прецизионной алмазной лезвийной обработки с целью определения рациональных режимов резания и геометрии инструмента из АКМ; 7 – разработка экспертной системы определения рациональных характеристик АКМ и режимов обработки этих материалов. Таким образом, реализуется идеология полной компьютерной автоматизации моделирования всех процессов, включая изготовление, обработку и эксплуатацию прецизионного алмазного инструмента.

Решение поставленных задач базируется на использовании пакетов программ COSMOS, ANSYS, NOSTRAN, «Third Wave AdvantEdge», «LS-DYNA», предназначенных для исследовательских расчетов методом конечных элементов.

В развитие выполненных ранее нами исследований [1 -7] в данной работе было исследовано влияние количественного состава металлофазы в алмазном зерне и температуры на НДС алмазоносного слоя при спекании алмазных кругов.

Влияние количественного состава металлофазы в зерне на НДС зоны спекания.

Известно, что нагрев синтетических алмазов, начиная с температуры 850°C, может привести к снижению их прочности. По нашему мнению, причиной этого является существенное различие в значениях коэффициентов термического расширения металлофазы и алмазного зерна. Как правило, коэффициент термического расширения металла-катализатора гораздо больше, чем у синтетического алмаза. Поэтому при нагревании происходит разрыв алмазного зерна изнутри.

Для исследования влияния количественного состава металлофазы в зерне разработаны модели с различным процентным содержанием металлофазы, а так же с произвольной ориентацией последней. На рисунке 1 показана расчетная модель, содержащая одно, два и три включения металла-катализатора (рисунки 1 а, б, в) соответственно.

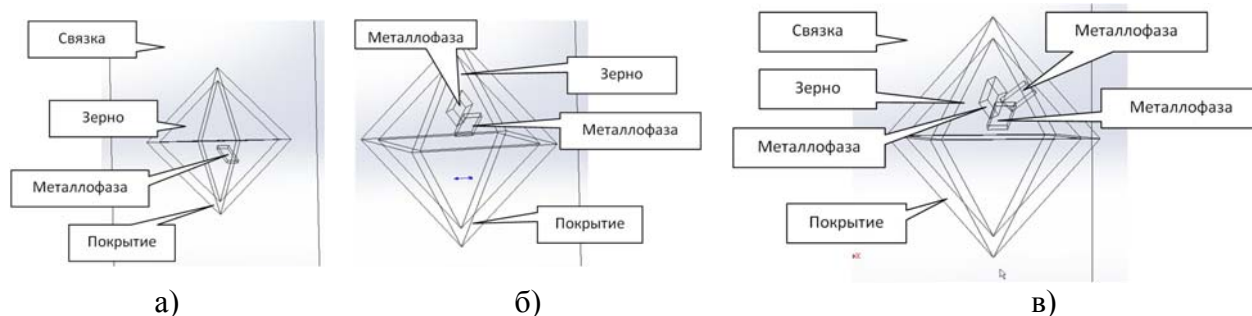


Рисунок 1 - 3D модели алмазных зерен с покрытиями, содержащих одно (а), два (б) и три (в) включения металла-катализатора

На рисунке 2 представлено влияние количественного содержания металлофазы в зерне на изменение эквивалентных напряжений, возникающих в зоне спекания алмазоносного слоя.

Из эпюр напряжений видно, что наибольшие напряжения при нагревании сконцентрированы в области металлофазы и именно она играет ключевую роль в разрушении алмазных зерен в процессе спекания алмазно-абразивного инструмента. При расположении включений металлофазы вблизи друг от друга наблюдается рост полей напряжений, распространяющихся на 40% от объема зерна. При расположении всех трех включений металлофазы в нижней части зерна наблюдается наложение напряжений, что приводит к разрушению значительного объема алмазного зерна (рисунок 2 в).

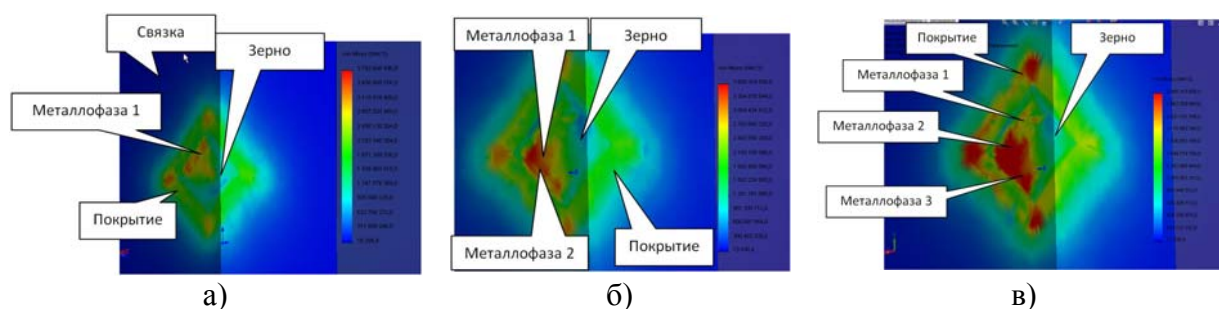


Рисунок 2. - Влияние количества включений металлофазы в зерне на изменение эквивалентных напряжений, возникающих в зоне спекания алмазоносного слоя
 а)-одно включение; б)-два включения; в)- три включения

Влияние степени износа алмазного зерна на НДС зоны шлифования. Применительно к процессу шлифования впервые изучено влияние степени износа алмазного зерна на НДС зоны шлифования. Это позволит более обоснованно подбирать оптимальную характеристику алмазоносного слоя круга. Моделировались случаи с различными степенями износа алмазных зерен (U): 10%, 25% и 40% от величины вылета зерна из связки. Конечноэлементная модель представлена на рисунке 3. Результаты расчета влияния величины износа зерна на НДС зоны шлифования представлены на рисунке 4.

Они свидетельствуют о том, что уже при температурах порядка 400-500⁰С из-за увеличения площади контакта зерна с обрабатываемым материалом наблюдается рост напряжений в зоне контакта. В местах заделки зерен в алмазной матрице появляются растягивающие напряжения, превышающие соответствующий предел прочности связки. Таким образом, увеличение площадки износа зерна способствует интенсификации процесса самозатачивания алмазного круга при шлифовании. При качественном подборе свойств композиции можно добиться оптимальных условий самозатачивания алмазного круга при обработке определенных групп материалов (ОМ).

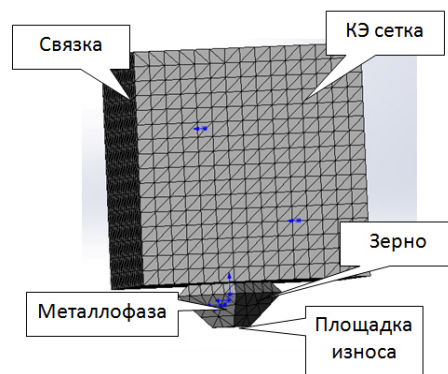


Рисунок 3. – Расчетная конечноэлементная модель (КЭ), имитирующая износ алмазных зерен при шлифовании

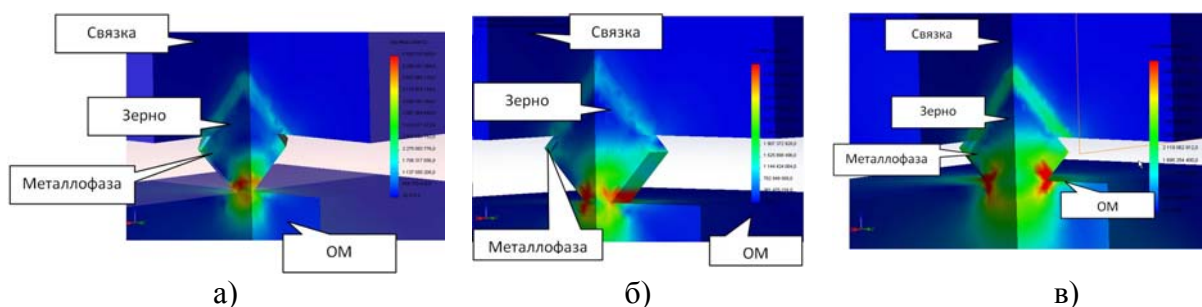


Рисунок 4. – Эпюры приведенных напряжений для различной степени износа алмазного зерна: а) - $U=10\%$; б) – $U=25\%$; в) – $U=40\%$

Влияние ориентации алмазных зерен в композите на НДС зоны шлифования. Одним из путей снижения себестоимости изготовления деталей машин является повышение стойкости и режущей способности инструмента, что может быть достигнуто применением абразивных и алмазных кругов с ориентированными зёрнами. В традиционных кругах положение абразивных зёрен хаотично. В процессе обработки

режущие кромки неориентированных абразивных зёрен вступают в контакт с обрабатываемой поверхностью под различными углами, которые отличаются от теоретически рациональных углов резания. Это предопределяет значительные усилия резания, а, следовательно, и тепловое воздействие, приводящее к структурным изменениям поверхностного слоя (появление прижогов и т.д.).

Для изучения НДС в зоне шлифования была разработана модель с произвольно наклоненными зернами относительно вертикальной оси. Расчетная модель, показывающая влияние хаотичности расположения алмазных зерен на НДС в зоне шлифования представлена на рисунке 5, результаты расчетов на рисунке 6.

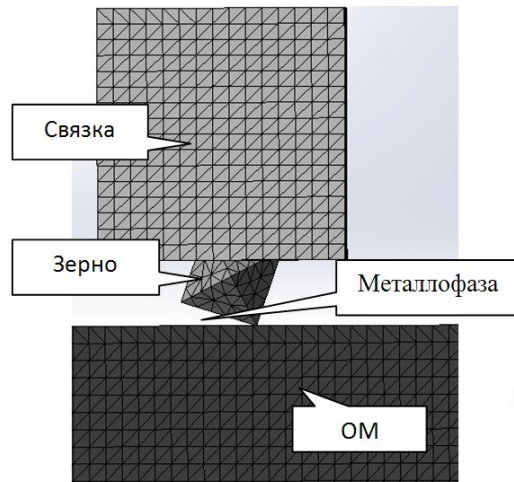


Рисунок 5. – Расчетная конечноэлементная модель, имитирующая хаотичность распределения зерен в композите

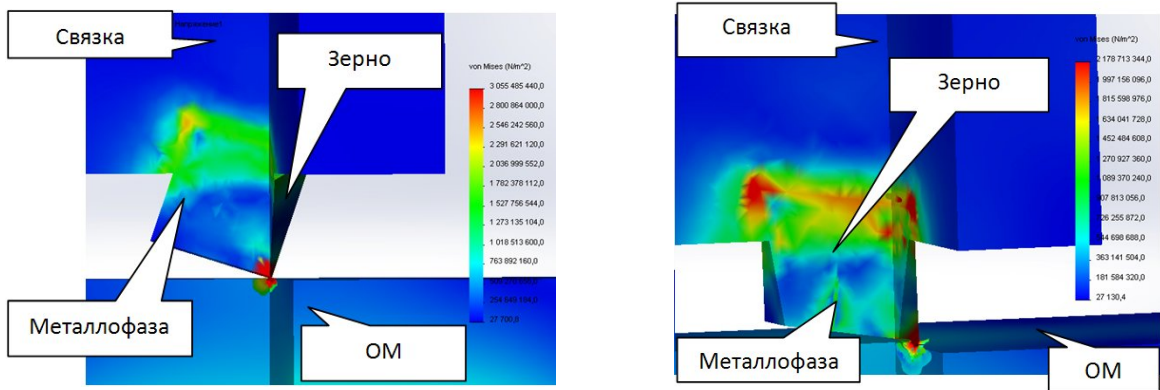


Рисунок 6. – – Результаты расчета напряженно-деформированного состояния системы «Алмазное зерно-металлофаза=связка-обрабатываемый материал при различной ориентации алмазного зерна.

а)- зерно наклонено к вертикальной оси на 30 град.; б)- зерно наклонено к вертикальной оси на 60 град

На рисунке 7. показана эпюра распределения напряжений при расположении зерна под наклоном 90° к продольной оси. Обработка при этом ведется тупой гранью с большей поверхностью контакта с обрабатываемым материалом.

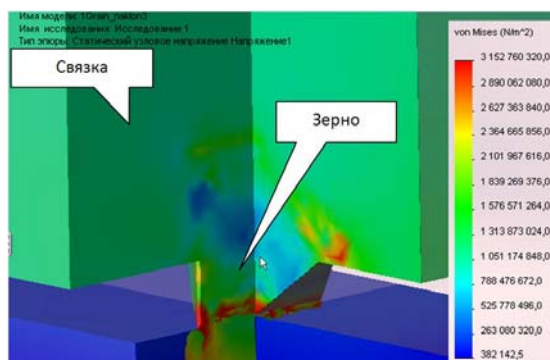


Рисунок 7 – Эпюра приведенных напряжений при расположении зерна под наклоном 90° к продольной оси

Расчетным путем показано, что при наклоне зерна от вертикальной оси более 45° наблюдается рост напряжений по контуру заделки зерна в связку. Так же, на 5-10%, возрастают напряжения в окрестности включения металлофазы по сравнению с перпендикулярно ориентированным зерном. При ориентации зерна тупой гранью к ОМ наблюдается рост объемов полей напряжений в зоне микрорезания, что свидетельствует об увеличении сил резания в данной ситуации.

Влияние величины заделки зерна в связку на НДС зоны шлифования. Актуальность данного вопроса подтверждается большим объемом патентных разработок. Обоснование параметров разновысотности закрепления зерна в рабочем слое инструмента рассматривается в патентах и авторских свидетельствах Японии, США, бывшего СССР и России, Германии, Франции, Австрии и др. В связи с разновысотностью зерен над связкой эффективность их использования очень низкая. Считается, что по причине разновысотности зерен только 10-17 % из них являются режущими, а остальные пластически деформируют металл или не контактируют с ним. На практике прочность удержания зерен связкой можно определить посредством измерения существующими методами твердости абразивного инструмента. Усилие вырывания зерна существенно зависит от его вылета над поверхностью связки. По оценке разных авторов зерна не удерживаются в связке при заделке в неё на глубину менее $h_z=12-30\%$ от номинального размера зерна.

В целях изучения данного вопроса в общей методологии определения рациональной структуры и свойств алмазно-композиционных материалов была разработана модель, учитывающая различную величину заделки зерен в связку.

На рисунке 8. представлена расчетная модель для изучения влияния величины заделки зерна на НДС в зоне шлифования.

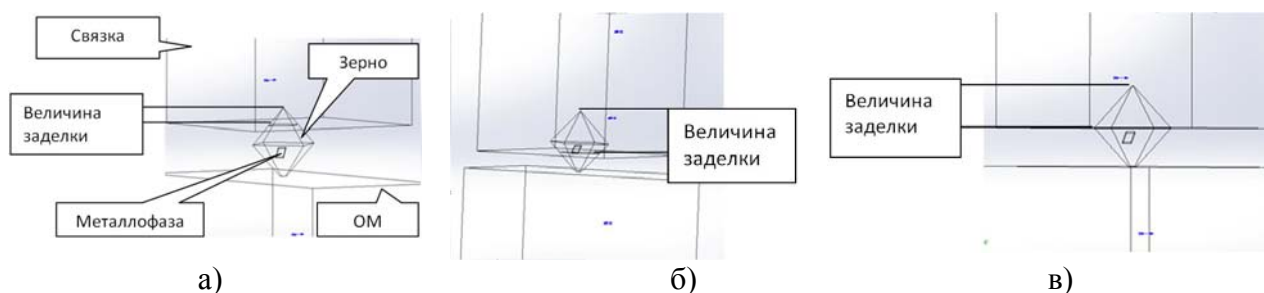


Рисунок 8 – Расчетная модель для изучения влияния величины заделки зерна на НДС в зоне шлифования

а) – $h_z=20\%$; б) - $h_z=65\%$; в) - $h_z=50\%$;

На рисунке 9 приведены результаты испытаний алмазных зерен размером 250/200 мкм на металлической связке при обработке керамики.

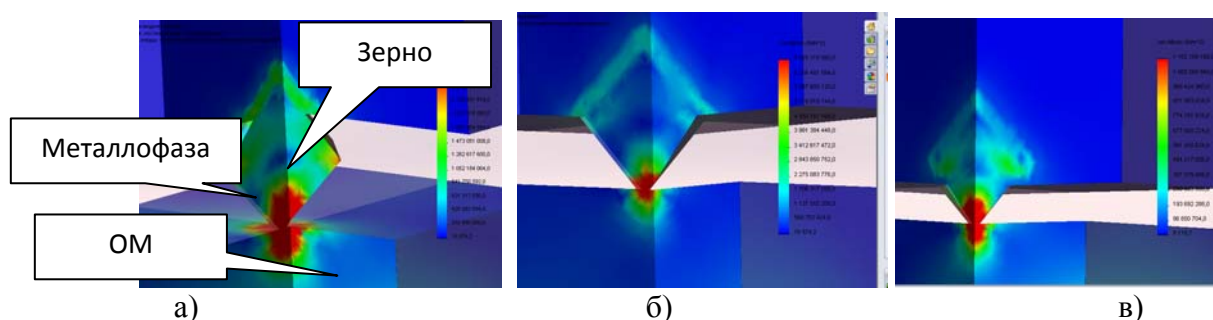


Рисунок 9 - Визуализация полей напряжений в изучаемой системе:

а) – $h_3 = 20\%$; б) – $h_3 = 50\%$; в) – $h_3 = 65\%$

Из полученных данных видно, что с увеличением вылета зерна из связки с 35% до 80%, усилие вырывания уменьшается в 1,3-1,7 раза. Анализ результатов показывает, что с ростом температуры шлифования роль термонапряжений существенно возрастает.

Таким образом, 3D моделированием показано, что при заделке зерна в металлической связке, равной 65% и более от общей длины может приводить к засаливанию круга. Поскольку возникшие напряжения оказываются недостаточными для вырывания зерна из связки. На основе разработанных моделей, в дальнейшем, могут проводиться исследования по определению оптимальных сочетаний материалов связующего компонента и ориентации зерен в композите. Данные разработки являются перспективными в процессе управления самозатачиванием алмазных кругов при помощи научно обоснованного выбора характеристик круга, режимов изготовления инструмента, а так же его применения.

Общая методология позволяет оценить «вклад» в НДС системы силового и температурного фактора, а так же концентрации, марки, взаимного ориентирования, износа алмазных зерен на основных этапах жизненного цикла АКМ – «разработка, производство и эксплуатация».

Литература

1. Mamalis AG, Grabchenko AI, Fedorovich VA, Kundrák J.: Methodology of 3D simulation of processes in technology of diamond-composite materials International Journal Of Advanced Manufacturing Technology, Volume: 43, Issue: 11-12, pp.1235-1250 DOI: 10.1007/s00170-008-1802-0 Published: 2009
2. Mamalis, A. G., Grabchenko A. I., Fedorovich V. A., Kundrak J.: Simulation of effects of metal phase in a diamond grain and bonding type on temperature in diamond grinding. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 58/2012 pp.195-200 DOI: 10.1007/s00170-011-3382-7
3. Mamalis A.G. Ways of simulation-based improvement in the performance of diamond-abrasive tools / A.G. Mamalis, A.I. Grabchenko, V.A. Fedorovich, J. Kundrak, E.A. Babenko // Journal of Machining and Forming Technologies. – New York: Nova Publishers, 2012. – Vol. 4, Issue 1-2. – p. 1–11.
4. Grabchenko Anatoliy I. Improvement of diamond-abrasive tools based on 3D – simulation / Anatoliy I. Grabchenko, Vladimir A. Fedorovich, Evgeniy A. Babenko, Dmitriy V. Romashov, Dmitriy O. Fedorenko // The Publications of the XXIV. microCAD International Scientific Conference. – Miskolc University, 2010. – p. 63–68.

5. Grabchenko Anatoly. 3D Simulation of diamond grain with bond joint by finite element method / Anatoly Grabchenko, Yevgen Babenko, Volodymyr Fedorovych // *Archiwum Technologii Maszyn I Automatyzacji*. – Poznan, 2011. – Vol. 31, № 2. – p. 19–26.
6. Mamalis A.G. 3D simulation of diamond grinding process by finite element method / A.G. Mamalis, A.I. Grabchenko, V.A. Fedorovich, J. Kundrak, E.A. Babenko // *Збірник наукових праць «Сучасні технології в машинобудуванні»*. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – Вип. 6, – С. 100–108.
7. Grabchenko Anatoly. Simulation of Grinding Process of Polycrystalline Superhard Materials / Anatoly Grabchenko, Vladimir Fedorovich, Ivan Pyzhov, Valery Fadeev, Eugene Babenko, Vitaly Klimenko // *Key Engineering Materials*. – Zurich: Trans Tech Publications, 2013. –Vol. 581. – p. 217–223.