



Разработана методология определения оптимального сочетания прочностных свойств алмазных зерен и связки на стадии изготовления алмазных кругов и методология расчета оптимального соотношения прочности связки, алмазных зерен и их концентрации в зависимости от прочностных свойств обрабатываемого материала

Эффективность процесса алмазного шлифования определяется качеством и характеристиками алмазных кругов и правильностью выбора условий шлифования. Первое условие в большей степени обеспечивается на стадии изготовления алмазных кругов, второе – на стадии их эксплуатации.

В процессе шлифования материалов, твердость которых не позволяет обеспечить классическое требование теории резания о 2-х кратном превышении твердости инструментального материала (ИМ) над обрабатываемым (ОМ), определяющим может являться соотношение прочностей элементов системы "обрабатываемый материал - алмазное зерно - связка круга". Например, при алмазном шлифовании сверхтвердых материалом (СТМ), когда твердости ИМ и ОМ практически одинаковы, эффективность процесса полностью определяется оптимальностью выбора соотношения прочностей СТМ, алмазных зерен и связки круга [1].

В настоящее время в Украине существует несколько сотен марок связок применяемых в алмазных кругах. Эти связки существенно различаются по своим прочностным свойствам. Например, только металлические связки имеют довольно широкий диапазон прочности от алюминиевых до твердосплавных.

Таким же широким прочностным диапазоном характеризуются прочностные свойства алмазных шлифпорошков от АС2 до АС160Т, различающимися по прочности в сотни раз.

Однако в настоящее время отсутствует методология выбора оптимального сочетания прочностных свойств алмазных зерен и металлической связки применительно к обработке конкретного обрабатываемого материала.

Существующие в литературе рекомендации по применению тех или иных алмазных зерен и металлических связок носят достаточно обобщенный характер и имеют широкие диапазоны. Такие рекомендации, с учетом высокой стоимости алмазных зерен (отличается в сотни раз, в зависимости от марки зерна) приводят к низкой эффективности их использования и, как следствие, высокой себестоимости процесса алмазного шлифования, что существенно сдерживает его применение в процессах обработки. К нерациональному использованию алмазных зерен также приводит не всегда обоснованное назначение уровня их концентрации в алмазных кругах. Традиционно применяемая в серийно выпускаемых кругах концентрация алмазных зерен (25,50,100,150,200%) требует существенного уточнения. Наши предварительные исследования показали, что для обработки конкретного ОМ должны быть выбраны конкретные по прочности (и цене) алмазные зерна, они должны быть заложены в определенную, по своим прочностным свойствам, связку и их количество (концентрация) в круге должна быть строго определенной (расчетной).

С целью экономии алмазных зерен их концентрация не должна ограничиваться серийно выпускаемой, при этом должна решаться также задача оптимального сочетания прочностных свойств металлической связки и алмазных зерен, с точки зрения сохранения их целостности в процессе спекания алмазных кругов.

В работе сделана попытка разработать расчетную методологию решения данной проблемы. Методология расчета базируется на 3D моделировании напряженно-деформированного состояния зоны шлифования и анализе процессов разрушения происходящих в этой зоне в зависимости от прочностных свойств алмазных зерен, связки и обрабатываемого материала.

Новые возможности изучения напряженно-деформированного состояния при спекании (изготовлении) алмазных кругов и зоны шлифования открылись с появлением пакетов программ по методу конечных элементов (МКЭ) типа "Cosmos", "Nostran" и "Ansys". Реализованная с использованием таких пакетов методология 3D моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) зоны шлифования СТМ позволила расчетным путем (теоретически), без длительных и трудоемких экспериментов, разработать экспертную систему процесса шлифования, позволяющую прогнозировать и оптимизировать процесс бездефектной обработки как существующих, так и вновь создаваемых сверхтвердых материалов [2].

С использованием разработанной методологии 3D моделирования НДС проведены исследования процесса спекания алмазных кругов на металлических связках и зоны шлифования различных труднообрабатываемых материалов, с целью определения оптимального сочетания прочностных свойств алмазных зерен, обрабатываемого материала и металлической связки, как на стадии изготовления алмазных кругов, так и на стадии их эксплуатации (рис.1).



Рис. 1 – Последовательность определения оптимального сочетания прочностных свойств обрабатываемого материала, металлической связки, алмазных зерен и их концентрации

Задачей процесса 3D моделирования НДС зоны спекания алмазоносного слоя круга на металлической связке является определение оптимального сочетания прочностных свойств алмазных зерен и связки, при которых обеспечивается сохранение целостности алмазных зерен в процессе спекания алмазного круга.

Вопреки существующим представлениям о модели алмазоносного слоя кругов, как совершенной [3,4,5], нами установлено, что структура алмазного слоя кругов содержит исходную дефектность в виде поврежденных алмазных зерен, которая количественно определяется безразмерной величиной степени повреждения алмазных зерен [6].

В работе Н.В. Новикова [6] установлено, что гранулометрический анализ зерен синтетических алмазов АС50 400/315, извлеченных рекуперацией из образца твесаля, показал, что в процессе спекания остаются неразрушенными только около 10-20% зерен. При этом показано, что на степень повреждаемости алмазных зерен в процессе спекания композиционных алмазосодержащих материалов (КАМ) существенное влияние оказывает концентрация в них алмазных зерен. Так увеличение концентрации с 50 до 150% повышает повреждаемость алмазных зерен в процессе спекания в 2,8 раза.

Поскольку технология спекания алмазоносного слоя круга, например, на твердосплавной связке типа ВК, практически идентична с технологией спекания КАМ, объективно предположить, что и при спекании алмазных кругов в завершённом круге часть зерен также разрушается.

Процесс спекания алмазных кругов сопровождается уменьшением процента основной фракции (крупных зерен) на 20 – 30% [7].

Причем алмазные зерна различной прочности, очевидно, будут подвергаться разрушению в процессе спекания по-разному. Безусловно, и состав металлической связки, и, как следствие, технологические параметры спекания кругов, будут оказывать существенное влияние на степень повреждаемости алмазных зерен.

При 3D имитации процесса спекания, фрагмент алмазоносного слоя круга моделировался кубом с размерами 300x300x300 мкм, с помещенным в центре алмазным зерном в форме октаэдра с размерами 100x100 мкм, что соответствует 100% концентрации алмазного круга. При моделировании круга с 50% концентрацией алмазных зерен, размер куба увеличивался в два раза и т.д. Модель нагружалась давлением и температурой соответствующей реальному процессу спекания алмазных кругов. Принято, что если приведенные напряжения в алмазном зерне превышали предел его прочности, оно считалось разрушенным (дефектным). Моделировался процесс спекания алмазоносного слоя на различных металлических связках от алюминиевых до твердосплавных с различными по прочности алмазными зернами, от АС2 до АС160Т. Путем варьирования сочетанием прочности алмазных зерен и их концентрации в круге для различных металлических связок определялось такое их сочетание, при котором обеспечивалось сохранение целостности алмазных зерен, т.е. они не должны разрушаться в процессе спекания.

В модельных экспериментах для анализа влияния марки покрытия на сохранение целостности алмазных зерен использовались покрытия из никеля и натриевоборосиликатного стекла. В расчетах материал связки М6-14, материал зерна АС6, материал металлофазы с преобладающим содержанием железа, оставались неизменными. Модели нагружались температурой от 800 до 1000 °С.

Модели влияния марки покрытия на 3D НДС в элементах системы «зерно – металлофаза – покрытие – связка» при температуре 1000 °С представлены на рис.2.

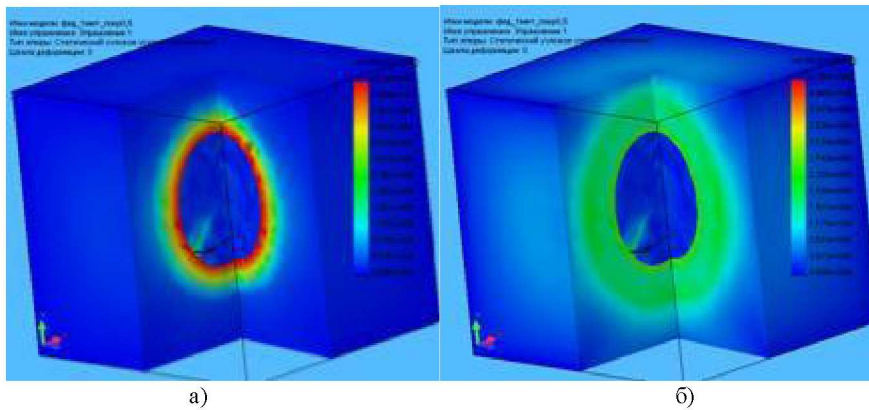


Рис. 2 – Влияние марки покрытия на 3D НДС в элементах системы «зерно – металлофаза – покрытие – связка»: а) никель; б) натриевоборосиликатное стекло.

Проведенные расчеты показали, что применение покрытия из натриевоборосиликатного стекла уменьшает величину разрушающих напряжений в зерне примерно на 15% больше, чем покрытие из никеля.

Установлено, что далеко не все серийно выпускаемые круги с используемым сочетанием марки алмазных зерен и марки металлической связки могут быть изготовлены со стандартной концентрацией алмазных зерен без нарушения их целостности. Так например, при спекании круга на связке М6-14 с алмазными зернами марки АС6, их концентрация в круге не должна превышать 7%, в противном случае они будут разрушаться уже в процессе изготовления круга. Показано, что для гарантийного сохранения целостности алмазных зерен практически во всех серийно выпускаемых кругах, их концентрация должна быть существенно меньше применяемой. Такая тенденция хорошо увязывается с возможностью и необходимостью снижения концентрации алмазных зерен в круге до уровня 10-15% при шлифовании сверхтвердых материалов [8].

Установлено, что для сохранения целостности алмазных зерен в процессе спекания круга должно быть строго соблюдено сочетание марки алмазных зерен и марки металлической связки. Следовательно, для круга 100% концентрации зерен в различные металлические связки могут быть заложены алмазные зерна по прочности не ниже указанных в таблице 1.

Таблица 1 – Предельно допустимые прочности алмазных зерен для различных связок

Связка	М1-01	М2-09	М6-14	ВК
Зерно	АС6	АС32	АС50	АС160

Таким образом, на первом этапе исследований установлены оптимальные сочетания прочностей металлической связки и алмазных зерен с предельно допустимой концентрацией их в круге, обеспечивающие сохранение целостности алмазных зерен в процессе изготовления алмазных кругов. Полученные на первом этапе оптимальные соотношения прочностей связки, алмазных зерен и их концентрации, являются лишь ограничивающими параметрами (характеристиками), и должны быть уточнены для процесса алмазного шлифования в зависимости от прочностных свойств обрабатываемого материала.

После получения установленных ограничений определяем оптимальное сочетание прочности обрабатываемого материала, связки, алмазных зерен и их концентрации в круге, обеспечивающее максимальную эффективность процесса шлифования. В процессе эксплуатации, оптимальное сочетание прочностей связки, алмазных зерен и их концентрации, определяем в зависимости от прочностных свойств ОМ. Для этого также используется методология 3D моделирования НДС, только для зоны шлифования.

Оптимальное сочетание прочностей связки, зерен и их концентрация должно обеспечивать такой уровень НДС в зоне шлифования, при которых:

- обеспечивается удержание алмазных зерен в связке;
- исключается хрупкое микроразрушение алмазных зерен (при шлифовании "мягких" материалов) или их самозатачивания без образования площадок износа (при шлифовании "твердых" материалов);
- обеспечиваются максимальные напряжения в обрабатываемом материале (съем припуска);
- исключается образование недопустимого дефектного слоя (брак).

Исходными данными должны быть физико-механические свойства ОМ и/либо прочность алмазных зерен и связки, тогда результатом расчета будет являться концентрация алмазных зерен, либо прочность связки и концентрация алмазных зерен, тогда результатом расчета будет прочность алмазных зерен и т.д.

Расчетная схема и пример результатов расчета 3D НДС системы "СТМ -зерно- связка" приведены на рис.3

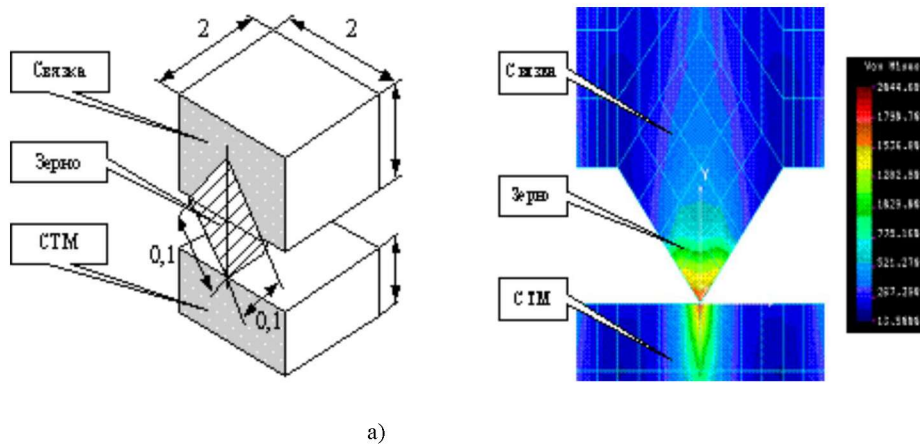


Рис. 3 – Расчетная схема 3D модели зоны шлифования (а) и пример результатов расчета НДС системы "СТМ-зерно-связка"

Таким образом, теоретически определена область оптимального разрушения элементов системы "СТМ - зерно - связка", в которой зерно удерживается в связке и не разрушается, а СТМ разрушается в контакте, но не растрескивается из-за общей нагрузки всех зерен (исключается брак) (рис.4).

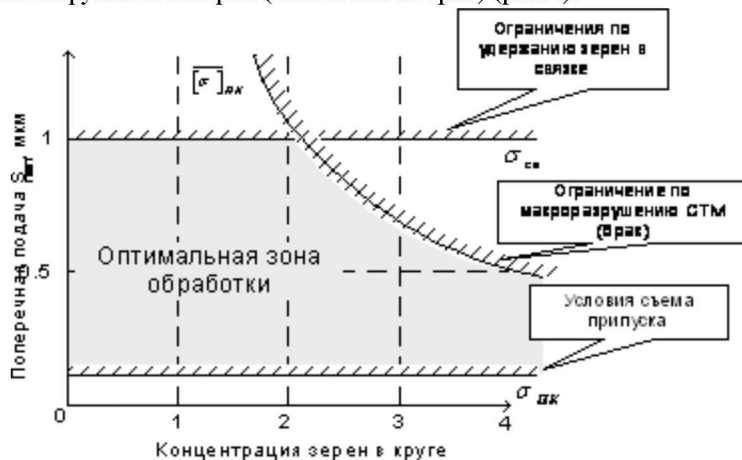


Рис. 4 – Результаты расчета оптимальной концентрации алмазных зерен и поперечной подачи по прочностным свойствам элементов зоны шлифования

Теоретически может быть определена область оптимальных условий алмазного шлифования различных марок СТМ, в том числе и вновь создаваемых. Дальнейшие экспериментальные исследования с целью сокращения их объема, будут проводиться в этой области.

Применительно к алмазному шлифованию сверхтвердых материалов определены оптимальные характеристики алмазных кругов и условия обработки (табл. 2).

Таблица 2 – Оптимальные характеристики алмазных кругов на этапе их эксплуатации

Обрабатываемый СТМ	Прочность алмазных зерен	Прочность металлической связки, ГПа	Концентрация алмазных зерен в круге	Скорость шлифования м/с	Нормальное давление, МПа
АСПК	АС160	600	5-7	40-50	3-4
АСБ	АС85	500	8-11	35-40	2,5-3
ДАП	АС60	400	12-15	30-35	2-2,5
СКМ	АС32	300	17-22	25-30	1,5-2
Гексанит-Р	АС15	100	25-35	20-30	1-1,5
Эльбор-Р	АС15	100	35-50	20-30	1-1,5

Такое соотношение прочностных свойств обрабатываемых материалов, связки и алмазных зерен обеспечивает бездефектную обработку при условии максимально возможной производительности и минимального удельного расхода зерен в процессе алмазного шлифования. Определение подобных оптимальных соотношений применительно к процессу алмазного шлифования не только СТМ, но и твердых сплавов, керамики, полимеров и других материалов, является одним из важных резервов повышения эффективности данного вида обработки.

Таким образом, разработана методология определения научно обоснованных рекомендаций по применению оптимального сочетания прочностей связки, алмазных зерен и их концентрации для эффективного шлифования материалов различной прочности. Установлено, что прочность связки круга является важнейшим параметром, определяющим не только степень алмазоудержания, но и производительность процесса шлифования. Концентрация

алмазных зерен в круге должна назначаться исходя из соотношения прочностей элементов системы "ОМ-зерно-связка". Уровень дефектности при алмазном шлифовании СТМ определяется соотношением прочностей СТМ, связки, алмазных зерен и их концентрацией в круге. Выбор зернистости алмазного круга следует проводить с учетом прочностных свойств различных по величине алмазных зерен.

**Список литературы:** 1. *Grabchenko A.I., Fedorovich V.A., Rusanov V.V.* 3D simulation of stress-deformed state of grinding zone of superhard materials. // Труды Междунар. конф. " International Scientific Conference (MicroCAD -2002), March 7- 8, Miscole, Hungary - 2002. - С.95-98. 2. *Федорович В.А.* Разработка научных основ и способов практической реализации управления приспособляемостью при алмазном шлифовании сверхтвердых материалов: Дис... докт. техн. наук: 05.03.01. - Харьков, 2002. - 469 с. 3. *Доброскок В.Л.* Научные основы формирования рабочей поверхности кругов на токопроводных связках в процессе шлифования: Дис...докт. техн. наук: 05.03.01 - Харьков, 2001. - 447 с. 4. *Резников А.Н., Гаврилов Г.М.* Аппроксимация распределения размеров зерен в алмазных порошках // Синтет. алмазы. - 1974. - № 4. - С. 10-13. 5. *Байкалов А.К.* Введение в теорию шлифования материалов. - К.: Наукова думка, 1978. - 207 с. 6. *Новиков Н.В., Майстренко А.Л., Кулаковский В.Н.* Сопротивление разрушению сверхтвердых композиционных материалов. - Киев: Наук. думка, 1993. - 220 с. 7. *Кизиков Э.Д., Верник Е.Б., Кошевой Н.С.* Алмазно-металлические композиции. - К.: Техніка, 1988. - 136 с. 8. *Грабченко А.И., Федорович В.А., Образков Б.В.* Роль концентрации алмазов в круге при шлифовании поликристаллов сверхтвердых материалов // Сверхтвердые материалы: Научн.-теор. журнал.- Киев.-1984.-Вып.1.-С.49-52.

Поступила в редакцию 17.02.2009