

**Д. О. ФЕДОРЕНКО, Д. В. РОМАШОВ,
В.А.ФАДЕЕВ**, д-р техн. наук,
В. А. ФЕДОРОВИЧ, д-р техн. наук, Харьков Украина

РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ В РЕЖИМЕ САМОЗАТАЧИВАНИЯ

Представлена методика і результати 3D моделювання процесу алмазно-абразивної обробки в режимі самозаточування. Встановлені умови, що забезпечують оновлення алмазних зерен, що зносилися, без примусової дії на круг. Отримані результати дозволять без проведення експериментів визначити оптимальні характеристики алмазних кругів.

Представлена методика 3D моделирования процесса алмазно-абразивной обработки в режиме самозатачивания. Установлены условия, обеспечивающие обновление износившихся алмазных зерен без принудительного воздействия на круг. Полученные результаты позволят без проведения дорогостоящих экспериментов определить оптимальные характеристики алмазных кругов.

*D. O. FEDORENKO, D. V. ROMASHOV, V.A. FADEEV, V. A. FEDOROVICH
DEVELOPMENT OF METHODOLOGY 3D MODELLING OF PROCESS OF
GRINDING IN THE MODE OF SELF-SHARPENING*

A 3D modeling method of diamond-abrasive treatment process in the own sharpening mode is presented. The terms, which provide the update of the worn out diamond grains without the forced influence on a circle, are exposed. The got results will allow to define the optimum descriptions of diamond circles without the conducting of expensive experiments.

Состояние вопроса. Эффективность применения шлифовальных кругов из СТМ зависит, прежде всего, от производительности и качества обработки деталей. Решающим фактором в повышении эффективности работы алмазно-абразивных инструментов является применение научно обоснованных режимов резания, позволяющих существенно увеличить срок службы шлифовальных кругов.

Как известно, в процессе эксплуатации алмазно-абразивных инструментов происходит затупление абразивных зерен (АЗ) и снижение их режущей способности вследствие образования площадок износа. В результате эффективность шлифования снижается, возрастает давление на деталь в зоне резания, появляются дефекты обработки в виде прожогов и огранки [1].

По мере затупления круга увеличивается радиус округления режущих граней АЗ, на которые налипают частицы шлифуемого материала. Засаливание проявляется в заполнении пространства между АЗ и пор круга

мельчайшими частицами отходов шлифования, состоящих из частиц абразива, связки и материала обрабатываемой детали. Вследствие засаливания режущая способность шлифовального круга резко снижается, причем в наибольшей степени негативное влияние этого явления проявляется при шлифовании заготовок из пластичных материалов [2].

Для восстановления режущей способности абразивного инструмента традиционно применяют специальную операцию принудительного удаления затупленных зерен – правку. Вместе с тем при эксплуатации алмазных и эльборовых кругов, АЗ которых отличаются повышенной хрупкостью, при определенных режимах шлифования проявляется эффект самозатачивания [3, 4].

Самозатачиванием называют непрерывную замену АЗ в процессе шлифования путем равномерного удаления затупившихся зерен со шлифующей поверхности круга под влиянием увеличенной силы резания. Самозатачивание имеет место в том случае, когда из-за затупления возросшее давление на зерна превышает прочность удерживающей их связки. Однако полного самовыкрашивания достигнуть на практике не удастся: в зависимости от характеристик круга и условий его работы АЗ могут выкрашиваться полностью или частично. При полном выкрашивании обнажаются новые АЗ; при частичном – на них появляются новые режущие кромки.

Примером абразивного инструмента, работающего в режиме самозатачивания, являются шлифовальные круги на бакелитовой, вулканитовой и керамических связках, используемые для заточки твердосплавного инструмента.

Следует отметить, что свойство самозатачивания проявляется только в том случае, если характеристики шлифовального круга соответствуют технологическим условиям работы. При несоответствии характеристик абразивного инструмента условиям его использования вместо полного или частичного самозатачивания наблюдаются следующие виды износа:

- быстрое сглаживание рабочей поверхности инструмента вследствие истирания выступов и кромок с образованием на зернах площадок и засорением пор стружкой и раздробленной связкой, что вызывает интенсивное теплообразование, резкое увеличение потребляемой мощности, ухудшение качества поверхностного слоя обработанной поверхности вследствие повышения температуры в зоне шлифования;
- осыпание, выкашивание работоспособных (целых) АЗ либо образование острых кромок, сопровождающееся резким снижением потребляемой мощности и уменьшением интенсивности снятия припуска на обработку [5].

Интенсивность самозатачивания алмазно-абразивного инструмента зависит от степени сопротивления, оказываемого связкой выкрашиванию зерен. Наиболее эффективное использование круга наблюдается в том слу-

чае, если связка удерживает зерна только до момента потери ими режущей способности.

В то же время при чрезмерно интенсивном самозатачивании из-за неравномерной нагрузки на зерна и неравномерного износа круг постепенно приобретает неправильную геометрическую форму, что приводит к увеличению погрешностей размеров, образованию на обрабатываемых поверхностях деталей волнистости и появлению вибраций. При дальнейшем шлифовании алмазный круг благодаря движению качания стремится восстановить правильную форму. Однако полностью восстановить правильную форму шлифовального круга не всегда удается, так как это зависит от величины припуска, величины подачи, характеристик шлифовального круга [6].

Целью работы является 3D моделирование процесса шлифования в режиме самозатачивания. Для решения поставленной задачи с привлечением метода конечных элементов были проведены теоретические исследования, направленные на изучение факторов и условий, определяющих реализацию режима самозатачивания шлифовальных кругов.

Методология исследований и обсуждение результатов. При проведении теоретических исследований были использованы программные пакеты: COSMOSWorks, ANSYS и LS-DYNA, реализующие метод конечных элементов. Реализация эксперимента, по 3D моделированию заключалось в последовательном выполнении следующих этапов.

Построение 3D модели системы «связка–зерно–металлофаза– обрабатываемый материал» осуществлялась в программном пакете SOLIDWorks, после чего модель экспортировалась в приложение COSMOSWorks. Заготовка и фрагмент связки моделировали в виде пластин, а алмаз – в виде октаэдра, размер которого зависел рассматриваемой зернистости (от 50×30×30 до 500×300×300 мкм). Наличие металла-катализатора в алмазных зернах моделировалось произвольно ориентированными пластинами, объемное содержание которых составляло от 0,6 до 6,0 %.

После построения сетки конечных элементов производилось ее сгущение в области контакта зерна и обрабатываемого материала, а также в области включений металлофазы.

На рисунке 1 представлена исходная 3D модель системы «связка–зерно–металлофаза–обрабатываемый материал»

При задании физико-механических свойств элементов системы для исходной модели были введены следующие исходные параметры:

- алмазное зерно марки АС100;
- материал заготовки – сталь 20;
- материал связки – керамика;
- состав металлофазы – никель.

Задание параметров нагружения модели производили с учетом усилий, обеспечивающих прижим алмазного круга во время шлифования за-

готовки. В ходе расчетного эксперимента, модель нагружалась нормальной силой F от 0,5 Н до 4,0 Н.

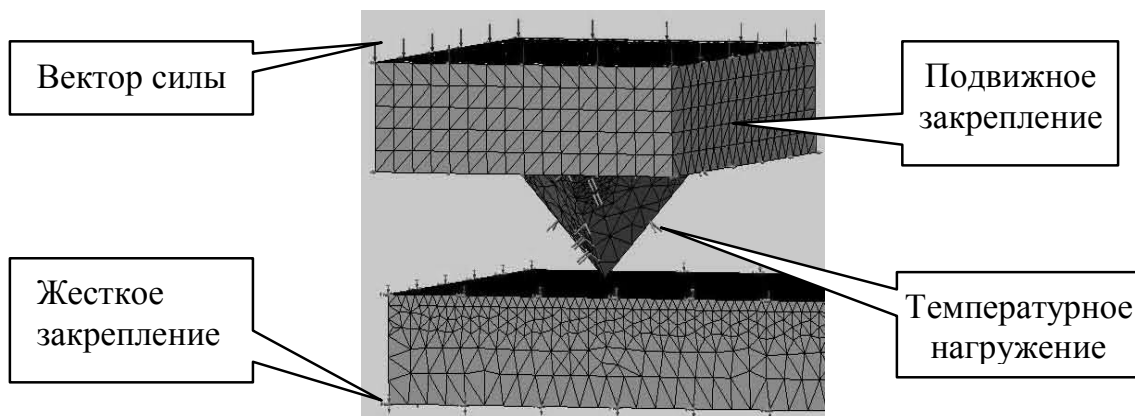


Рисунок 1 – Задание параметров нагружения модели системы «связка–зерно–металлофаза–обработываемый материал»

На рис.2 представлены результаты моделирования поведения системы при изменении усилия прижима алмазного зерна, которые наглядно иллюстрируют распределение напряжений, возникающих в системе. При этом включения металла-катализатора, присутствующего в рассматриваемой системе не являются концентраторами напряжений. Область проявления максимальных напряжений располагается в зоне контакта алмазного зерна и обрабатываемого материала и расширяется с увеличением усилия прижима. Установлено, что увеличением усилия прижима алмазного зерна в интервале 0,5÷4,0 Н максимальный уровень эквивалентных напряжений, наблюдаемых в системе, увеличивается в 3 раза (с 4,33 ГПа до 12,96 ГПа).

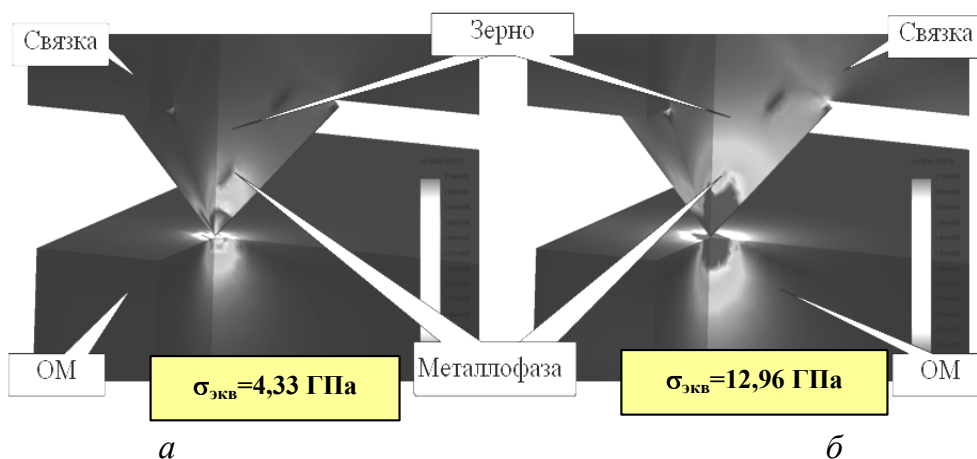


Рисунок 2 – Распределение эквивалентных напряжений при разных усилиях прижима алмазного зерна: а) $F = 1$ Н; б) $F = 3$ Н

При изучении поведения системы «связка–зерно–металлофаза– обработываемый материал» было также исследовано влияние температуры, возникающей при шлифовании, поскольку среди множества факторов, определяющих процесс засаливания абразивного инструмента отходами

шлифования, доминирующим является температура нагрева зерна, связки и обрабатываемого материала. Для проведения сравнительного анализа напряженно-деформированное состояние системы изучалось как в отсутствии нагрева, так и в режиме разных температурных нагружений (500 °С и 800 °С), имитирующих нагрев системы при шлифовании. Рис. 3 иллюстрирует распределение эквивалентных напряжений, возникающих в системе при изменении температуры и постоянном усилии прижима $F = 3\text{Н}$.

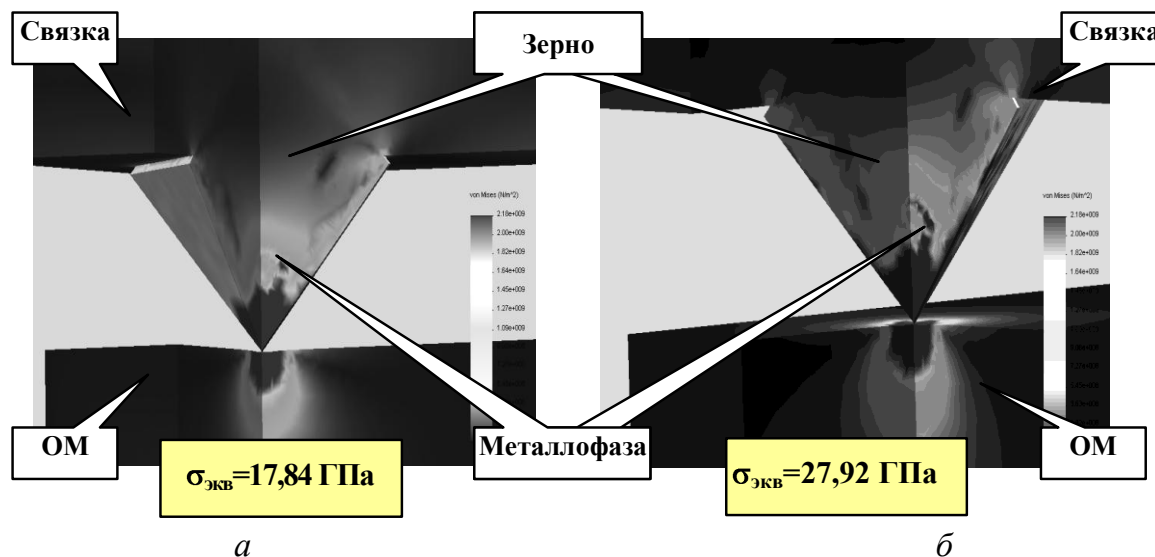


Рисунок 3 – Распределение эквивалентных напряжений при постоянном усилии прижима ($F = 3\text{Н}$) и разных температурных нагружениях: а) 500 °С; б) 800 °С

Установлено, что повышение температуры шлифования от 500 °С до 800 °С эквивалентные напряжения увеличиваются от 17,84 ГПа до 27,92 ГПа соответственно. При этом область проявления максимальных напряжений распространяется вдоль ребер алмазного зерна и охватывает участки, в которых находятся включения металлофазы. Это объяснимо влиянием температуры на поведение остатков металла-катализатора в алмазном зерне: поскольку металл-катализатор (в нашем случае никель) обладает значительно большим коэффициентом температурного расширения ($\alpha = 17 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$) по сравнению с алмазом ($\alpha = 3,7 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$) напряжения, возникающие на контакте алмазных зерен и металлофазы вследствие температурной нагрузки, накладываются на поля напряжений, вызванных силовой нагрузкой, что вызывает увеличение эквивалентных напряжений в участках металлофазы. Анализ результатов моделирования позволил установить, что зависимость эквивалентных напряжений от температуры носит экспоненциальный характер и удовлетворительно описывается уравнением $\sigma_{\text{ЭКВ}} = 12,235 \cdot e^{0,001T}$ (достоверность аппроксимации $R^2 = 0,95$).

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости охлаждения зоны резания при использовании абразивного алмазного инструмента, а также о необходимости выбора металла-катализатора с наименьшим КТР при синтезе алмазов.

Поскольку определение условий и режима шлифования, обеспечивающих минимальную интенсивность налипания частиц материала заготовки на АЗ, невозможно без расчета локальных температур, в дальнейшем будет проведено моделирование поведения системы с использованием программного пакета LS-DYNA, позволяющего осуществлять динамическое 3D моделирование объектов.

Выводы. Проведенные исследования по определению 3D НДС зоны шлифования позволяют учесть суммарное воздействие термосиловых факторов на состояние системы «связка– зерно– металлофаза– обрабатываемый материал», спрогнозировать поведение системы и выявить оптимальные условия, обеспечивающие наиболее эффективное применение шлифовальных кругов в режиме самозатачивания.

Предложенная методология позволяет определить рациональные сочетания физико-механических свойств связки (КТР, теплопроводности, модуля упругости, пределов текучести и прочности при растяжении), характеристики алмазных зерен (марку, зернистость, концентрацию), а также подобрать режимы шлифования, при которых будет реализован процесс самозатачивания алмазно-абразивных кругов, обеспечивающий максимальный коэффициент использования потенциально высоких режущих свойств алмазных зерен.

Список использованных источников: 1. *Суслов А. Г.* Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с. 2. Минимизация засаливания шлифовальных кругов / *Л. В. Худобин, А. Н. Унянин*; под. ред. *Л. В. Худобина*. – Ульяновск : УлГТУ, 2007. – 298 с. 3. *Грабченко А. И.* Расширение технологических возможностей алмазного шлифования. – Харьков: Вища школа, 1985. – 184 с. 4. Высокоэффективная обработка деталей технологического оборудования инструментом из ПСТМ на основе плотных модификаций нитрида бора / *Антонюк В. С., Волкогон В. М., Муковоз Ю. А.* и др. // Резание и инструмент в технологических системах.– Междунар. науч.-техн. сборник. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – Вып.74. – с. 7–13. 5. *Носов Н. В.* Повышение эффективности и качества абразивных инструментов путем направленного регулирования их функциональных показателей: Дис. ... докт. техн. наук: 05.02.08, 05.03.01 / Самарский гос. техн. ун-т. – Самара, 1997. – 452 с. 6. *Мишнаевский Л. Л.* Износ шлифовальных кругов. – Киев: Наукова думка, 1982. – 192с.

Bibliography (transliterated): 1. *Suslov A. G.* Kachestvo poverhnostnogo sloja detalej mashin. – M.: Mashinostroenie, 2000. – 320 s. 2. Minimizacija zasalivaniya shlifoval'nyh krugov / *L. V. Hudobin, A. N. Unjanin*; pod. red. *L. V. Hudobina*. – Ul'janovsk : UIGTU, 2007. – 298 s. 3. *Grabchenko A. I.* Rasshirenie tehnologicheskikh vozmozhnostej almaznogo shlifovanija. Har'kov: Viwa shkola, 1985. 184 s. 4. Vysokojeffektivnaja obrabotka detalej tehnologicheskogo oborudovanija instrumentom iz PSTM na osnove plotnyh modifikacij nitrida bora / *Antonjuk V. S., Volkogon V. M., Mukovoz Ju. A.* i dr. // Rezanie i instrument y tehnologicheskijh sistemah. Mezhdunar. nauch.-tehn. sbornik. – Har'kov: NTU «HPI», 2008. Vyp.74. s. 7-13. 5. *Nosov N. V.* Povyshenie jeffektivnosti i kachestva abrazivnyh instrumentov putem napravlennogo regulirovanija ih funkcional'nyh pokazatelej: Dis. ... dokt. tehn. nauk: 05.02.08, 05.03.01 / Samarskij gos. tehn. un-t. – Samara, 1997. – 452 s. 6. *Mishnaevskij L. L.* Iznos shlifoval'nyh krugov. – Kiev: Naukova dumka, 1982. – 192 s.