

Д.В. Ромашов, Харьков Украина,
Д.В. Криворучко, д-р техн. наук, Сумы Украина,
В.А.Федорович, д-р техн. наук, Харьков Украина

ДИНАМИЧЕСКОЕ 3D МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ШЛИФОВАНИЯ

Шліфування з високими швидкостями - це складний процес, для успішного використання якого необхідно досягти високого рівня розвитку, як обладнання, так і інструменту. У кожному конкретному випадку необхідний глибокий і всебічний аналіз визначення області ефективного використання даного методу. Необхідно враховувати не тільки високу продуктивність, а й безпеку інструменту в даних умовах.

Шлифование с высокими скоростями – это сложный процесс, для успешного использования которого необходимо достичь высокого уровня развития, как оборудования, так и инструмента. В каждом конкретном случае необходим глубокий и всесторонний анализ определения области эффективного использования данного метода. Необходимо учитывать не только высокую производительность, но и безопасность инструмента в данных условиях.

High speed grinding is a complex process and for its successful use is necessary to achieve a high level of development of equipment and tools. Each specific case requires a deep and comprehensive analysis of the determination of the effective use of this method. It is necessary to consider not only performance but also safety of the tool in these conditions.

Введение

Долгосрочной целью анализа при помощи конечных элементов (МКЭ) является физическое моделирование всего процесса. Однако сложность процесса алмазно-абразивной обработки требует значительных вычислительных ресурсов. Для проверки моделирования необходимо большое количество экспериментов, возможность которых ограничена современными методами измерений, которые не позволяют устанавливать законы поведения материала при варьировании большого числа параметров.

Кроме того вычислительные мощности не позволяют полностью моделировать весь процесс шлифования с микроскопическими конечными элементами на поверхности зерна.

Например, Чанг(Zhang) [1] использует МКЭ для моделирования напряжений, вызванных механической нагрузкой, термоциклическими и фазовыми переходами. Ванг(Wang) [2], использует метод для исследования усталости и деформации алмазных отрезных дисков с различными структурами, с целью получения минимальной температуры в процессе обработки и более равномерного ее распределения. Джайн (Jain) [3, 4] использовал МКЭ, чтобы определить распределение температур в заготовке под влиянием высокоскоростного процесса алмазной обработки и последующее остаточные напряжения.

Для кругов, работающих в режимах высокоскоростного шлифования необходимо получить не только высокую производительность, но и безопасность инструмента в данных условиях. При разработке конструкций кругов необходимо решать следующие задачи:

- выбор материала основания круга;
- конструкция основания круга
- способ адгезии связующего слоя и основания круга;
- прочность алмазосносного слоя

Для основания высокоскоростного шлифовального круга выбранный материал должен иметь высокий коэффициент жесткости. Этим критериям, например, отвечают алюминиевые сплавы, титановые сплавы, пластмассы (углепластики), армированные углеродными волокнами. Поскольку смещения (деформации) и напряжения можно уменьшать правильным сочетанием материалов и введением, например, наноструктурированных добавок, то жесткость будет высокой, как показано в формулах. (1) и (2):

$$\sigma_{\max} = \frac{1}{4} \left\{ (3 + \theta) + \frac{(1-\theta)}{k^2} \right\} \frac{\rho R^2 \omega^2}{E} \quad (1)$$

$$U = \frac{1}{4} E \left\{ (3 + \theta) + \frac{(1-\theta)}{k^2} \right\} \frac{\rho R^2 \omega^2}{E} \quad (2)$$

где, E – модуль Юнга; θ - коэффициент Пуассона; ρ - удельная плотность; ω - угловая скорость; $k = \frac{R}{r}$; R – внешний диаметр; r – внутренний диаметр; g – ускорение свободного падения

Кроме того, необходимо учитывать легкость получения выбранного материала. Несмотря на это, на периферических скоростях в 200 м/с используются сплавы титана и алюминия, сталь используется при окружной скорости 160 м/с [5]

В данной работе на основе динамического 3D моделирования (Explicit Dynamics) проведены модельные эксперименты по расчеты устойчивости работы кругов, а также расчеты производительности при высокоскоростном шлифовании.

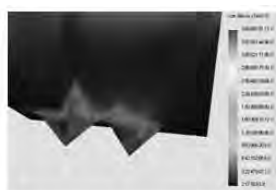
Результаты и их обсуждение

Поскольку при обработке с высокими скоростями существует опасность разрушения конструкции круга под действием значительных центробежных сил, необходимо на стадии проектирования учитывать данные особенности. Исследования проводим в два этапа: расчет конструкции круга и расчет фрагмента алмазосносного слоя.

На рисунке 1 показана картина напряженно-деформированного состояния при прочностных испытаниях круга и отдельного фрагмента алмазосносного слоя.



скорость 100 м/с
температура 100 °С



скорость 100 м/с
температура 100 °С



скорость 350 м/с
температура 400 °С



скорость 350 м/с
температура 400 °С

а

б

Рисунок 1 – Распределение напряжений в исследуемом круге:

а – конструкция круга в целом; б – отдельно взятый фрагмент алмазоносного слоя.

Модуль упругости связки - $6,9\text{e}+011$ МН/м², КТР металлофазы - $0,5\text{e}-05$ 1/К

При шлифовании на элементарный объем круга действует центробежная сила инерции прямо пропорциональная квадрату угловой скорости и расстоянию до центра вращения. Исходными данными при расчете являются геометрические размеры круга, его угловая скорость и мощность главного привода, определяемые технической характеристикой станка. Из эпюры видно, что разрушающие напряжения возникают на скорости в 350 м/с, при температурной нагрузке в 400 °С и концентрируются на границе перехода основания круга в рабочий алмазоносный слой.

Целью динамического моделирования является получение необходимого сочетания характеристик круга и режимов обработки, которые позволят сохранить высокую производительность, точность и стабильность процесса при высоких скоростях.

Для определения производительности и устойчивости процесса высокоскоростного шлифования расчеты проводились при помощи динамического решателя LS-DYNA (Explicit Dynamics). Моделировался фрагмент режущего алмазоносного слоя (500x600x100мкм), учитывающий марку круга (пористость), концентрацию алмазных зерен, марку алмазных зерен (AC4), зернистость (100x80 мкм) и различные варианты заделок зерен в связке.

Сборка модели производилась в SolidWorks с экспортом в ANSYS для задания необходимых начальных параметров: тип сетки, начальные условия.

Сгущение сетки выполнялось в областях заделки абразивных зерен в связку, в местах контакта зерен с заготовкой и включения металлофаз.

На рисунке 2 показан расчет объема разрушенных алмазных зерен и остаточные напряжения в связующем компоненте.

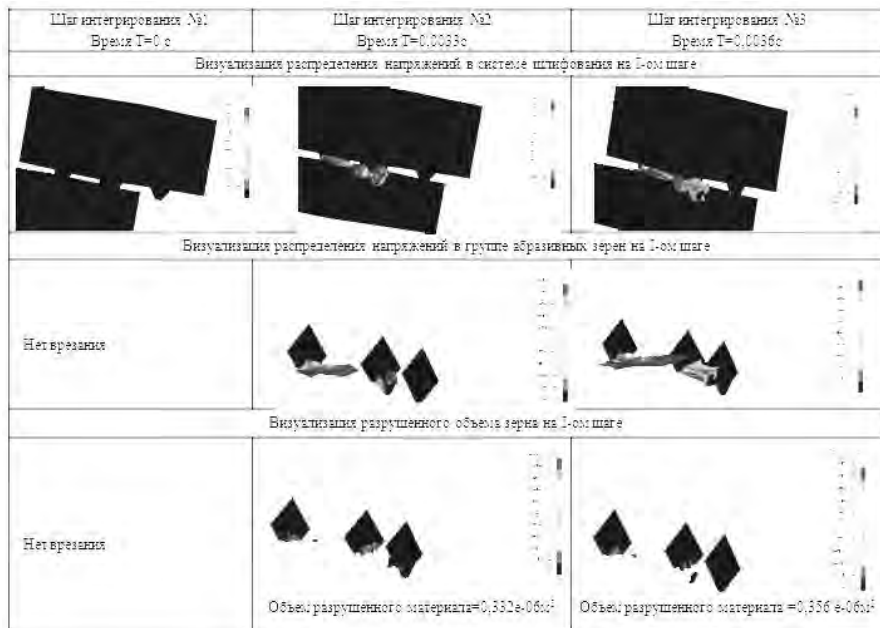


Рисунок 2 – Теоретическое определение повреждений в рабочей группе зерен.
Скорость обработки 170 м/с

По результатам динамического 3D моделирования установлено, что при превышении скорости круга более 120 м/с алмазные и абразивные зерна становятся острыми. Причиной этого явления, является разрушение затупленных зерен при ударе о деталь. При работе на высоких скоростях связка становится настолько жесткой, что зерна не могут демпфировать при ударе и разрушаются хрупко с образованием острых граней. Данное уникальное явление актуально при обработке сверхтвердых материалов. При таких режимах значительно увеличивается качество обработанной поверхности и сохраняется высокая производительность высокоскоростного шлифования.

На рисунке 3 показано теоретическое определение объема разрушенного материала.

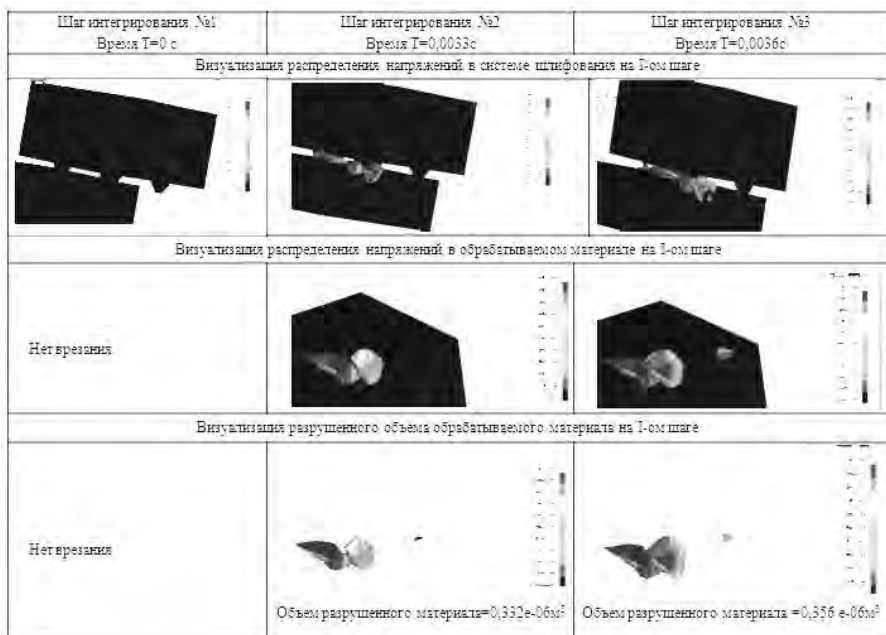


Рисунок 3 – Теоретическое определение объема разрушенного материала в обрабатываемой сверхтвердой заготовке и качества полученного слоя.
Скорость обработки 170 м/с

Для алмазных зерен и обрабатываемого материала использовался критерий разрушения по Джонсону-Холмквисту (Johnson-Holmquist). Модель поведения материала Джонсона-Холмквиста впервые предложена для описания реакции хрупких материалов при больших деформациях. В данных расчетах применялась вторая версия этой модели, известная как JH-2 [6] в которой прочность и повреждение материала рассматриваются как функции от представляющих переменных. Более того, в материале рассматривается развитие повреждений.

Несмотря на то, что модель JH-2 не учитывать эффекты скорости деформации, было отмечено, что эти эффекты, как правило, вторичны по сравнению эффектами от давления [6]. Это было отмечено экспериментально, и находит отражение в типичных значениях для констант в модели. В настоящее время прочность материала определяется из уравнения 3.

$$\sigma^* = \sigma_i^* - D(\sigma_i - \sigma_f) \quad (3)$$

где, D – накопленное повреждение материала, σ^* – текущая нормальная прочность, σ_i – прочность не разрушенного материала, σ_f – прочность разрушенного материала.

Значительный интерес представляет обработка алмазов на высоких скоростях. Установлено, что при этом силы резания снижаются многократно. В дальнейшем, путем установления влияния температурного фактора на остаточные напряжения в обработанном сверхтвердом материале можно будет более корректно судить о качестве получаемой поверхности.

Выводы

Разработана общая методология теоретических исследований влияния количественных и качественных характеристик кругов и обрабатываемого материала на эффективность их взаимного микроразрушения в режиме сверхскоростного шлифования, согласно которой этапы изготовления и эксплуатации алмазного инструмента призваны корректировать друг друга.

Усовершенствован процесс разработки кругов для сверхскоростного алмазного шлифования путем внедрения в процесс проектирования теоретических модельных экспериментов по расчету прочности конструкции круга в целом, и отдельных фрагментов алмазоносного слоя.

Используя динамическое 3D моделирование, изучив остаточные напряжения, деформации и температурные поля, получены сведения о качестве поверхностного слоя обработанного СТМ при сверхскоростном шлифовании.

Показан эффект упрочнения связки вокруг заделки алмазного зерна в рабочем диапазоне скоростей от 150 до 180 м/с. При обработке сверхтвердых материалов это способствует образованию субмикроромок на алмазных зернах, что приводит к улучшению качества обрабатываемого СТМ.

Список использованных источников: 1. *M. Mahdi and L. Zhang*, Applied Mechanics in Grinding: Part VI, residual stresses and surface hardening by coupled thermo-plasticity and phase transformation, International Journal of Machine Tools Manufacture, 38 (1998) 1289-1340. 2 *H. Sakamoto, S. Shimizu, K. Suzuki, T. Uematsu, and A. Shimotokube*, Effects of the Megasonic Coolant on Cylindrical Grinding Performance, 6th International Symposium on Advances In Abrasive Technology (ISAAT), Bristol, England, 2003. 3. *Yadav, Vinod, Jain V.K., Dixit, Parametric Study Of Temperature Distribution In Electro-Discharge Diamond Grinding*, P. M., 2004 4. *Vinod Yadava, V.K.Jain, and Prakash M. Dixit*, 2004, "Theoretically Analysis Of Thermal Stresses In Electro-Discharge Diamond Grinding", Machining Science and Technology Vol. 8, No. 1, pp.119-140. 5. *Norihiro Funayama and Junichi Matsuda*, Development of High-Performance cBN and Diamond Grinding Wheels for High-Speed Grinding, New Diamond and Frontier Carbon Technology Vol. 15, No. 4, 2005 MYU Tokyo 6 *Duane S. Cronin, Khahn Bui, Christian Kaufmann, Grant McIntosh, Todd Berstad* Implementation and Validation of the Johnson-Holmquist Ceramic Material Model in LS-Dyna, 4th European LS-DYNA Users Conference p 47-60.

Поступила в редколлегию 15.06.2012