

УДК 621.902

Д.В. Ромашов, Д.О. Федоренко,
В.А. Федорович, д-р техн. наук, Харьков Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИИ КРУГА ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ

Шліфування з високими швидкостями (більше 80 м / с) - це складний процес, для успішного використання якого необхідно досягти високого рівня розвитку, як обладнання, так і інструменту. Розглянуто основні проблеми цілісності алмазних кругів при високошвидкісному шліфуванні, а також перспективи їх вирішення з використанням методів математичного моделювання.

Шлифование с высокими скоростями (более 80 м/с) – это сложный процесс, для успешного использования которого необходимо достичь высокого уровня развития, как оборудования, так и инструмента. Рассмотрены основные проблемы целостности алмазных кругов при высокоскоростном шлифовании, а также перспективы их решения с использованием методов математического моделирования.

Grinding at high speeds (over 80 m / s) is a complex process for the successful use of which is necessary to achieve a high level of development equipment and instrument. This article describes the main problems of the integrity of the diamond grinding wheels for high-speed regimes, as well as the prospects for their solution, using mathematical modeling methods.

Введение

Высокоскоростные режимы обработки требуют подходящего оборудования, с соответствующими шпинделями, шлифовальным инструментом, подсистем и жесткости. Одной из важнейших задач для более широкого использования высокоскоростного алмазного шлифования является решение проблем безопасности, т.е. целостности кругов при действии значительных центробежных сил, и стабильности работы круга на высоких скоростях [1-4]. Поэтому, создание 3D методологии модельного прогнозирования поведения инструмента всех основных этапах его жизненного цикла является одним из наименее затратных путей повышения его эффективности, а значит и эффективности самого процесса обработки.

В данном исследовании рассматривается 3D моделирование промышленных прочностных испытаний алмазных кругов, подвергающимся нагрузкам, возникающим при обработке высокоскоростным шлифованием [6-9]. Модельные эксперименты, в данном случае, позволили установить зависимости между целостностью кругов и широким диапазоном материалов и форм круга. Такие результаты получить крайне тяжело при проведении

большого числа натуральных экспериментов вследствие высокой стоимости работы тестирующего оборудования [2, 3, 5].

3D моделирование проводилось в два этапа – расчет конструкции в целом и расчеты целостности алмазонасного слоя (рисунок 1)

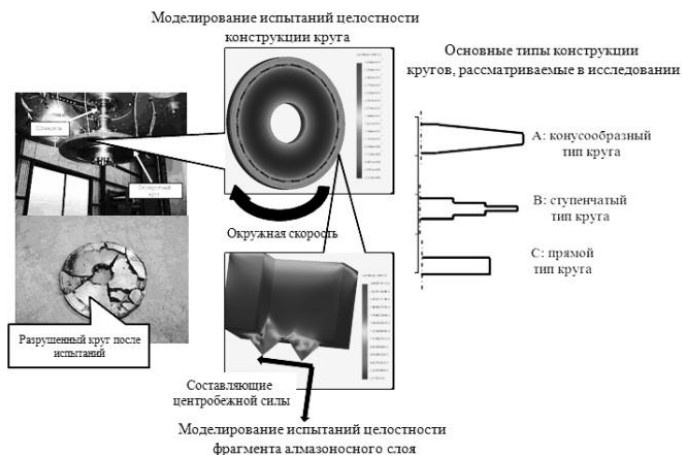


Рисунок 1 – Концепция 3D моделирования целостности конструкции кругов для высокоскоростного шлифования

Результаты и их обсуждение

При выполнении работы были использованы современные методы проведения модельных экспериментов. В основе комплекса расчетов и прогнозирования эксплуатационных характеристик использовался метод конечных элементов (МКЭ). В работе применялись новейшие аналитические CAD/CAE- комплексы, такие как: ANSYS, CosmosWorks, SolidWorks.

Проведены серии модельных опытов по влиянию формы круга и физико-механических свойств материалов исследуемой системы на его целостность (рисунок 2).

Результаты данных расчетов подтверждаются исследованиями [10], проведенными с помощью высокооборотистого шпинделя, позволяющего достигать окружной скорости в 500 м/с для кругов диаметром 200 мм. На рисунке 3 показана корреляция результатов расчетов в МКЭ и экспериментов в диапазоне окружных скоростей круга от 50 до 200 м/с.

Результаты расчетов говорят о целесообразности использования ступенчатой или конусообразной конструкций кругов с целью уменьшения внутренних напряжений и деформаций, что приведет к повышению стабильности процесса обработки на высокоскоростных режимах.

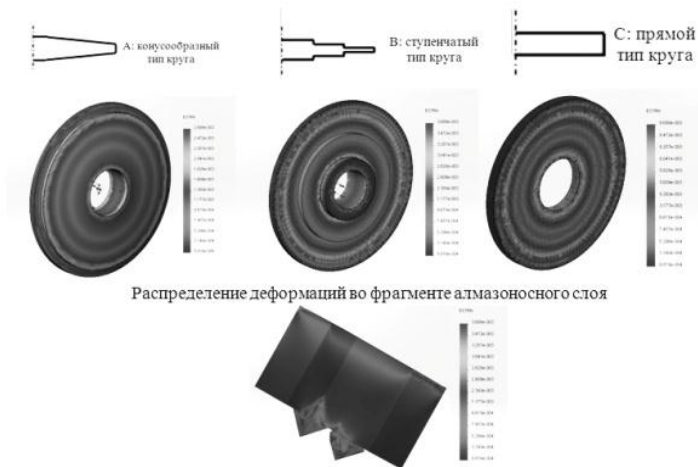


Рисунок 2 – Распределение деформаций в компонентах круга во время действия значительных центробежных сил при высокоскоростном шлифовании.

Материал основания круга – легкий сплав на основе алюминия, связка алмазного слоя на основе железа. Окружная скорость круга для всех трех вариантов 150 м/с

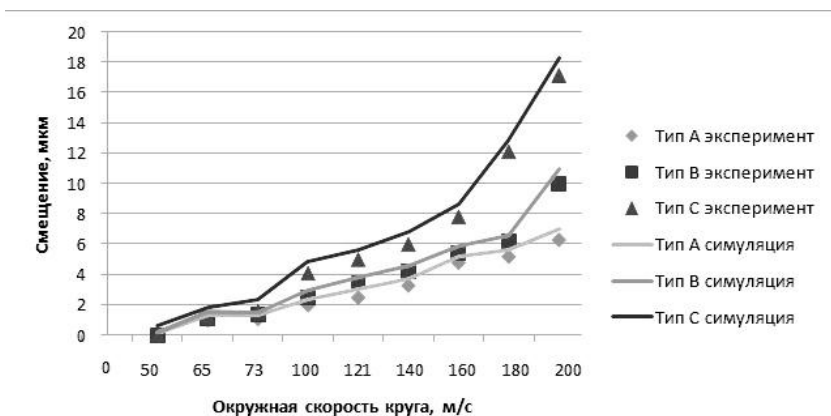


Рисунок 3 – Зависимость деформаций в конструкции круга от окружной скорости

Повышение надежности элементов сооружений и деталей машин предъявляет высокие требования к проектным решениям, поскольку конструкция должна быть достаточно прочной, а в необходимых случаях – жесткой и устойчивой и, вместе с тем, иметь наименьшую материалоемкость, трудоемкость изготовления и стоимость. В значительной мере эта задача может быть решена за счет рационального проектирования на основе современных методов прочностных расчетов. Необходимо исходить из того, чтобы наибольшее расчетное напряжение в поперечном сечении элемента конструкции, возникшее при заданной нагрузке, было ниже того предельного напряжения, при котором возникает опасность появления пластической деформации или опасность разрушения.

Для пластичных материалов основания круга, как при растяжении, так и при сжатии предельным напряжением является предел текучести. Поэтому для них допускаемое напряжение получают, исходя из предела текучести:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{[n]}, \quad (1)$$

где σ_T – предел текучести материала, n – коэффициент прочности.

Для хрупких материалов допускаемое напряжение растяжения $[\sigma_p]$ и допускаемое напряжение сжатия $[\sigma_c]$ получают, исходя из пределов прочности $[\sigma_{вр}]$ и $[\sigma_{вс}]$:

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_{вр}}{[n]} \text{ и } [\sigma_c] = \frac{\sigma_{вс}}{[n]} \quad (2)$$

Коэффициенты запаса по отношению к временному сопротивлению в условиях хрупкой прочности при динамическом воздействии следует выбирать довольно большими. Для композитного материала порядка 3 и выше. Это связано с тем, что даже однократное превышение максимальным напряжением временного сопротивления вызывает разрушение.

Запас прочности рассчитывается при помощи МКЭ в программном пакете CosmosSimulation по максимальным нормальным напряжениям:

$$\frac{\sigma_{норм}}{\sigma_{предел}} < 1, \quad (3)$$

где $\sigma_{норм}$ – значения максимальных нормальных напряжений, $\sigma_{предел}$ – значение предельных напряжений для материалов рассматриваемой системы

Эпюры распределения запаса прочности в зависимости от формы круга представлена на рисунке 4.

Таким образом, можно говорить о целостности системы при вращении круга с окружной скоростью до 420 м/с. Оптимальными конструкциями в данном случае будут (а) и (б) (рисунок 4). Здесь наблюдаются наибольшие

значения коэффициента запаса (соответственно 3.45 и 3.11) при работе с окружными скоростями до 300 м/с.

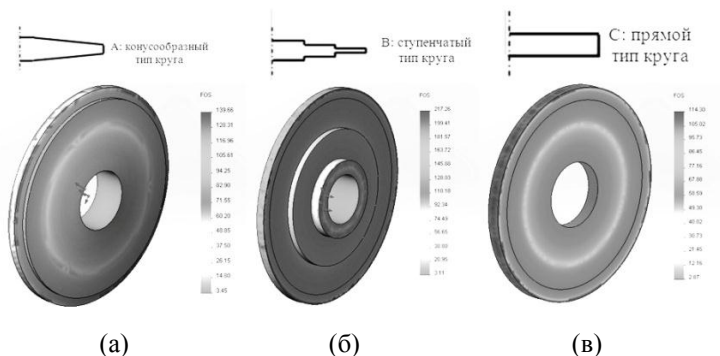


Рисунок 4 – Эпюры распределения запаса прочности в зависимости от конструкции круга при окружной скорости 300 м/с, материал основания круга – легкий сплав на основе алюминия, связка алмазоносного слоя на основе железа: а – минимальное значение запаса прочности 3.45; б – минимальное значение запаса прочности 3.11; в – минимальное значение запаса прочности 2.61

Выводы

Разработана 3D методология определения прочностных характеристик алмазных кругов для высокоскоростного шлифования, работоспособность которой подтверждена экспериментальными данными современных лабораторий прочности материалов.

Впервые примененная к процессу прочностных испытаний шлифовального круга методика 3D моделирования его напряженно-деформированного состояния позволила проанализировать НДС системы «основание круга – алмазоносный слой» при действии значительных центробежных сил в зависимости от формы и физико-механических свойств компонентов круга.

Расчетным путем установлены эпюры распределения коэффициента запаса прочности при варьировании материалов компонентов круга, а так же режимов испытаний.

Определено, что для большей стабильности работы на высоких скоростях обработки необходимо использовать ступенчатую или конусообразную конструкцию основания круга. В данном случае деформации в системе уменьшаются в среднем на 15-20% по сравнению со стандартным прямым исполнением.

Список использованных источников: **1.** *J.F.G. Oliveira, E.J. Silva, C. Guo, F. Hashimoto* (2009) Industrial challenges in grinding. *Annals of the CIRP* 58 663–680. **2.** *Webster J, Tricard M* (2004) Innovations in Abrasive Products for Precision Grinding. *Annals of the CIRP* 53(2):597–617. **3.** *Klocke, F., and Merbecks, T.*, 2001, Characterization of Vitrified cBN Grinding Wheels, 4th Int. Machining and Grinding Conf., SME, Michigan. **4.** *E. Brinksmeier, J.C. Aurich, E. Govekar, C. Heinzl, H.W. Hoffmeister, F. Klocke, J. Peters, R. Rentsch, D.J. Stephenson, E. Uhlmann, K. Weinert, M. Wittmann* (2006) Advances in Modeling and Simulation of Grinding Processes. *Annals of the CIRP* 57 p 667-696. **5.** *Barlow, N., Jackson, M., and Hitchiner, M.*, 1996, Mechanical Design of High-Speed Vitrified cBN Grinding Wheels, Proc. of IMEC, Univ. of Connecticut, USA , p. 568-570. **6.** *J. Matsuda:* *Journal of the Society of Grinding Engineers* 44 (2000) 353. **7.** Eckart Uhlmann Testing Method for Grinding Wheels, Institute for Machine Tools and Factory Management. **8.** *T.W. Hwang, C.J. Evans and S. Malkin*, An Investigation of High Speed Grinding with Electroplated Diamond Wheels, *Annals of CIRP*, Vol:49/1/2000, pp.245-248, Sydney. **9.** *Z. Shi and S. Malkin*, Investigation of Grinding with Electroplated CBN Wheels, *Annals of the CIRP*, Vol. 53, 2003, No. 1, pp. 267 – 270. **10.** 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.

Поступила в редколлегию 23.07.2013