

С.В. Рябченко, н.с.

*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля
НАН Украины*

ИЗНОС КРУГОВ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ЗУБОШЛИФОВАНИИ

(Представлено д.т.н., проф. Клименком С.А.)

Рассматриваются вопросы повышения эффективности шлифования высокоточных зубчатых колес, основанной на использовании инструмента из СТМ. Исследована работоспособность тарельчатых шлифовальных кругов из КНБ на различных связках и даны рекомендации по их применению.

Введение. Зубошлифование является основным методом финишной обработки закаленных зубчатых колес, устраняющей деформации, возникшие при химико-термической обработке. Шлифование зубчатых колес тарельчатыми кругами на зубошлифовальных станках типа «МАОГ» обеспечивает более высокую (3–4 степень) точность по сравнению с другими методами [1].

Одним из путей повышения производительности и качества обработки зубчатых колес является применение для зубошлифования кругов из сверхтвердых материалов (СТМ) [2]. Сравнительные испытания показали увеличение производительности обработки при шлифовании кругами из СТМ в 1,5 раза по сравнению со шлифованием абразивными кругами, отсутствие «прижогов» на поверхности зуба и возможность получения зубчатых колес 4–5 степени точности. Режущая способность кругов из СТМ на 25–30 % больше, чем электрокорундовых кругов [3]. Меньший размерный износ кругов из СТМ позволяет отказаться от механизмов его компенсации.

Известно, что профиль сечения режущей части тарельчатого круга при шлифовании зубчатых колес отличается от прямоугольного [4]. Некоторые исследователи указывали на образование площадки износа на режущей кромке круга на органических связках. Однако до настоящего момента не установлена форма износа режущей кромки тарельчатых кругов из СТМ при шлифовании зубчатых колес.

Исследованию износа кругов из СТМ при зубошлифовании посвящена данная работа.

Основная часть. Шлифование зубчатых колес осуществляли на специальном стенде, созданном на базе зубошлифовального станка

модели 5891, работающего одним тарельчатым кругом. Станок был модернизирован для шлифования зубчатых колес с охлаждением и правкой кругов электроэрозионным методом [5].

При проведении исследований по шлифованию зубчатых колес применялись круги 12A2-20° из кубического нитрида бора (КНБ) зернистостью 125/100 на металлической связке. Шлифовались зубчатые колеса из стали ХВГ (59–61 HRC) с модулем $m = 6$ мм, числом зубьев $z = 21$, шириной венца $B = 20$ мм.

Работоспособность тарельчатых кругов из КНБ при шлифовании зубчатых колес оценивали следующими показателями: мощностью шлифования (N), шероховатостью обработанной поверхности (Ra), точностью эвольвентного профиля зуба (f_f), величиной съема обрабатываемого материала и износом круга. Износ тарельчатого круга оценивали по изменению профиля слепка, оставленного на тонкой металлической пластине режущей частью вращающегося круга. Износ круга определяли по двум параметрам: износ по торцу – h и по диаметру – l .

Износ круга в процессе шлифования происходит в результате одновременного действия многих факторов (механического разрушения, истирания зерен, влиянием повышенных температур, химических реакций в зоне контакта круга с деталью, вибраций круга и т. п.), имеющих случайный характер и в общем случае являющихся взаимосвязанными. Поэтому оценку износостойкости шлифовальных кругов целесообразно производить по нескольким основным критериям с использованием вероятностных моделей, учитывающих взаимовлияние факторов. Очевидно, что износ круга при одновременном действии ряда разрушающих факторов можно свести к определению надежности последовательной системы, в которой отказ любого элемента приводит к отказу всей системы. Часто в качестве понятия надежности системы принимают вероятность ее безотказной работы. Если они слабо влияют друг на друга (что имеет место для многих условий шлифования), то элементы системы можно считать не зависящими друг от друга. Такие условия шлифования наблюдаются при зубошлифовании тарельчатыми кругами 0-градусным методом, где небольшой участок круга, фактически – абразивное зерно, осуществляет периодическое шлифование, как в черновом, так и финишном режимах.

В таком случае, согласно теореме о произведении вероятностей, вероятность P безотказной работы системы равна произведению P_i безотказной работы ее элементов: $P = \prod_{i=1}^N P_i$, где N – число элементов системы.

Если имеет место рассеяние как действующей нагрузки p , так и критической нагрузки p_k , характеризующееся плотностями распределения $f_i(p)$ и $f_{ik}(\xi)$ соответственно, то вероятность P_i можно вычислить по формуле:

$$P_i = \int f_i(p) [1 - f_{ik}(\xi)] d\xi dp.$$

Обозначив через $F_{ik}(p)$ функцию вероятностей для величины p_{ik} :

$$F_{ik}(p) = \int f_{ik}(\xi) d\xi$$

получим:

$$P = \int_{p=0}^{\infty} f_i(p) [1 - F_{ik}(p)] dp.$$

Распределение размеров абразивных и алмазных зерен, применяемых в шлифовальных кругах, описывается нормальным законом. В предположении о независимости критической и действующей на зерна нагрузок предложена следующая формула для определения вероятности разрушения

$$F(0) = Q(K_n, V_{pz}, V_{pk}) = 0,5 + \Phi\left(\frac{1 - K_n}{V_{pk}^2 + K_n^2 + V_{pz}^2}\right),$$

где $\Phi(x)$ – интеграл Френеля, K_n – средний запас прочности (коэффициент запаса прочности) единичных зерен, равный отношению средних значений и величин критической P_{zk} и действующей P_z на зерна тангенциальной составляющей сил резания соответственно, V_{pk} и V_{pz} – коэффициенты вариации величин P_{zk} и P_z .

Исследовалась степень влияния разброса действующей и критической нагрузок на вероятность разрушения зерен кругов при разных режимах шлифования. Установлено качественное различие между вероятностью разрушения при $K_n > 1$, $K_n = 1$ и $K_n < 1$. При $K_n > 1$ меньшие значения вероятности разрушения достигаются при меньших величинах V_{pk} и V_{pz} (рис. 1). Это означает, что на финишных операциях шлифования для обеспечения меньшей вероятности разрушения зерен круга, целесообразно использовать шлифовальные круги с минимальным, по возможности, разбросом свойств алмазных зерен (размеров, их формы, ориентации, прочности и т. д.).

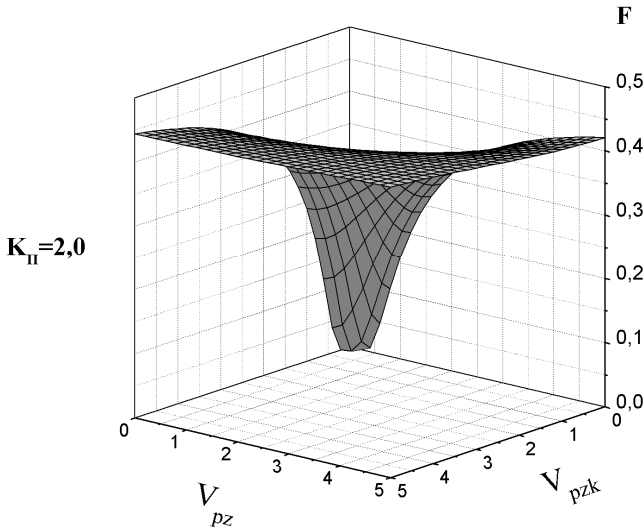


Рис. 1. Вероятность разрушения зерна при $K_n > 1$ (финишное шлифование)

Значения коэффициента $K_{II} = \frac{P_{zk}}{P}$ – (средний запас прочности)

больше 1:

$$F = 0,5 \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{(K_{II} - 1)}{\sqrt{2(V_{pz}^2 K_{II}^2 + V_{pzk}^2)}} \right) \right].$$

Для значений K_{II} , близких к 1,0, разброс критической и действующей на зерно нагрузок сильно влияет на величину вероятности разрушения лишь в области малых значений коэффициентов V_{pzk} и V_{pz} . При $K_n = 1$ она вырождается в единственную точку: $V_{pzk} = 0$ и $V_{pz} = 0$, т. е. это означает, что разброс действующей и критической нагрузок при $K_n = 1$ практически не влияет на вероятности разрушения (рис. 2).

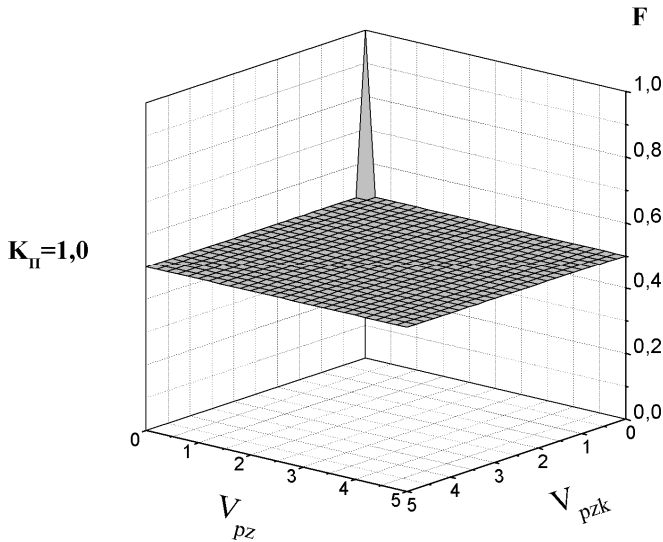


Рис. 2. Вероятность разрушения зерна при $K_n = 1$

Значения коэффициента $K_n = \frac{P_{zk}}{p}$ – (средний запас прочности) равно 1: $F = 0,5$.

Для режимов шлифования, характеризующихся величиной коэффициента прочности $K_n < 1,0$ (высокопроизводительное шлифование), разброс критической и действующей на зерна нагрузок при больших K_n сильнее влияет на величину вероятности разрушения, чем при меньших K_n (рис. 3). При этом меньшие значения вероятности разрушения зерен круга достигается при большем разбросе как действующей на зерна нагрузки, так и их прочностных свойств.

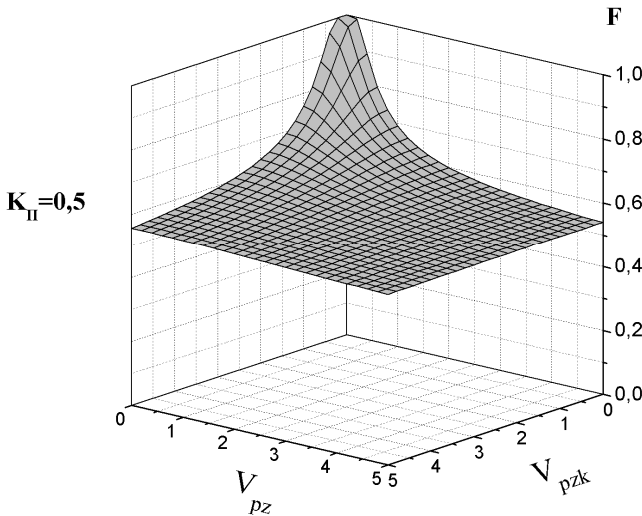


Рис. 3. Вероятность разрушения зерна при $K_{II} < 1$ (высокопроизводительное шлифование)

Значения коэффициента $K_{II} = \frac{P_{zk}}{P}$ – (средний запас прочности) не превышает 1:

$$F = 0,5 \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{(1 - K_{II})}{\sqrt{2(V_{pzk}^2 K_{II}^2 + V_{pz}^2)}} \right) \right]$$

Исследование износа тарельчатых кругов и его влияние на точность эвольвентного профиля зубчатого колеса производилось при черновом (с глубиной $t = 0,05$ мм) и чистовом (с глубиной $t = 0,02$ мм) зубошлифовании.

Установлено, что после ускоренного износа круга в течение первого прохода величина интенсивности износа в дальнейшем стабилизируется (рис. 4, 5). Шлифовальный круг работает равномерно без наступления критического износа. Это характерно как для чернового, так и чистового зубошлифования. В то же время характер изменения погрешности профиля и мощности шлифования говорит о том, что правка круга на чистовых режимах не требуется.

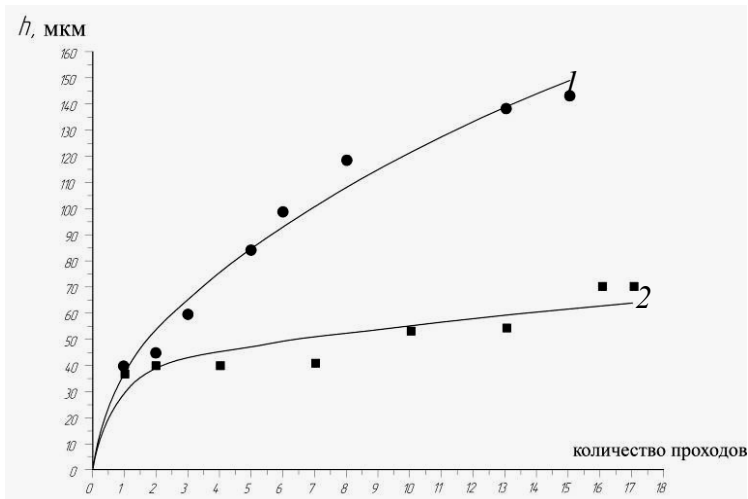


Рис. 4. Залежність износу круга по торцю h від кількості проходів (1 – при $t = 0,05$ мм, 2 – при $t = 0,02$ мм)

Выводы. Анализ проведенных экспериментов показал, что лимитирующим параметром для достижения точности обработки зубчатого колеса является размерный износ тарельчатого круга, который практически пропорционален количеству обработанных зубьев без правки. Величина износа определяет точность обрабатываемого зубчатого колеса. В течение всего процесса обработки мощность резания практически остается на одном уровне. Не изменяется и фактический съем материала, находясь в пределах 0,61–0,50. Это обстоятельство говорит о том, что в процессе шлифования зубчатых колес тарельчатый круг из КНБ работает в режиме самозатачивания. Изменяются только геометрические параметры шлифовального круга за счет его износа. На режущей кромке круга образуется площадка износа, размеры которой определяются износом по торцу h и по диаметру l круга.

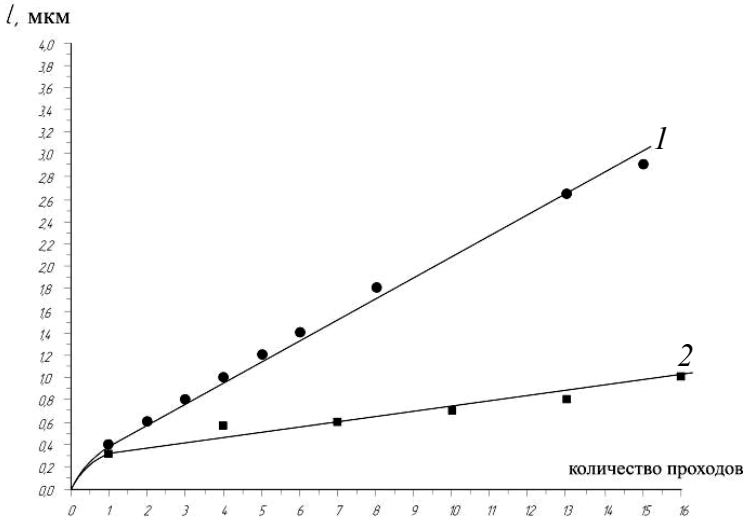


Рис. 5. Залежність износу круга по діаметру l від кількості проходів (1 – при $t = 0,05$ мм, 2 – при $t = 0,02$ мм)

В результаті аналізу износу тарельчатого круга по торцю установлено, що для скорочення періода приработки кругів при зубошлифованні на режущій кромці необхідно попередньо формувати площадку з розміром $h = 0,03-0,05$ мм, що відповідає величині приработочного износу круга. Така площадка на режущій поверхні круга формується відповідною правкою під кутом $5-7^\circ$ або забезпечується конструкцією інструмента.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гинзбург Е.Г., Халевский Н.Т. Производство зубчатых колес. – Л.: Машиностроение, 1978. – 136 с.
2. Высокопроизводительное зубошлифование кругами из кубического нитрида бора / Л.Л. Мишинаевский, А.А. Сагарда, В.М. Емельянов и др. // Синтетические алмазы. – 1970. – № 5. – С. 40–42.
3. Эльбор в машиностроении / Под. ред. В.С. Лысанова. – Л. : Машиностроение, 1978. – 280 с.
4. Мишинаевский Л.Л. Износ шлифовальных кругов. – К. : Наук. думка, 1982. – 192 с.

5. *Рябченко С.В.* Разработка технологии шлифования зубчатых колес тарельчатыми кругами из СТМ // Сучасні процеси механічної обробки інструментами з НТМ та якість поверхні деталей машин : зб. наук. праць (Серія Г «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти»)/НАН України. ІНМ ім. В.М. Бакуля. – К., 2006. – 240 с. – С. 161–168.

РЯБЧЕНКО Сергей Васильевич – научный сотрудник Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

Научные интересы:

- зубошлифование;
- качество обработанной поверхности.

Подано 02.09.2011