

УДК 621.923

С. В. Рябченко, канд. техн. наук

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

ШЛИФОВАНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС АЛМАЗНО-АБРАЗИВНЫМИ КРУГАМИ

Рассмотрены вопросы повышения эффективности шлифования высокоточных зубчатых колес 3–4 степени точности, при использовании инструментов из сверхтвердых материалов. Исследована работоспособность тарельчатых шлифовальных кругов из кубического нитрида бора на различных связках и приведены рекомендации по их применению при зубошлифовании.

Ключевые слова: шлифование, зубчатые колеса, алмазно-абразивный круг.

В машиностроении одним из путей реализации задач повышения производительности обработки, является широкое применение новых абразивных и алмазных инструментов [1].

Зубошлифование является одним из основных способов финишной обработки закаленных зубчатых колес. Шлифованием обеспечивается 3–6 степень точности зубчатых колес и шероховатость поверхности $Ra\ 0,20\text{--}1,2$ [2].

Шлифуют зубчатые колеса методами обката с непрерывным или периодическим делением и методом копирования с периодическим делением [3]. Метод копирования основан на воспроизведении рабочей поверхностью шлифовального круга впадины зубьев шлифуемого колеса (рис. 1, а).

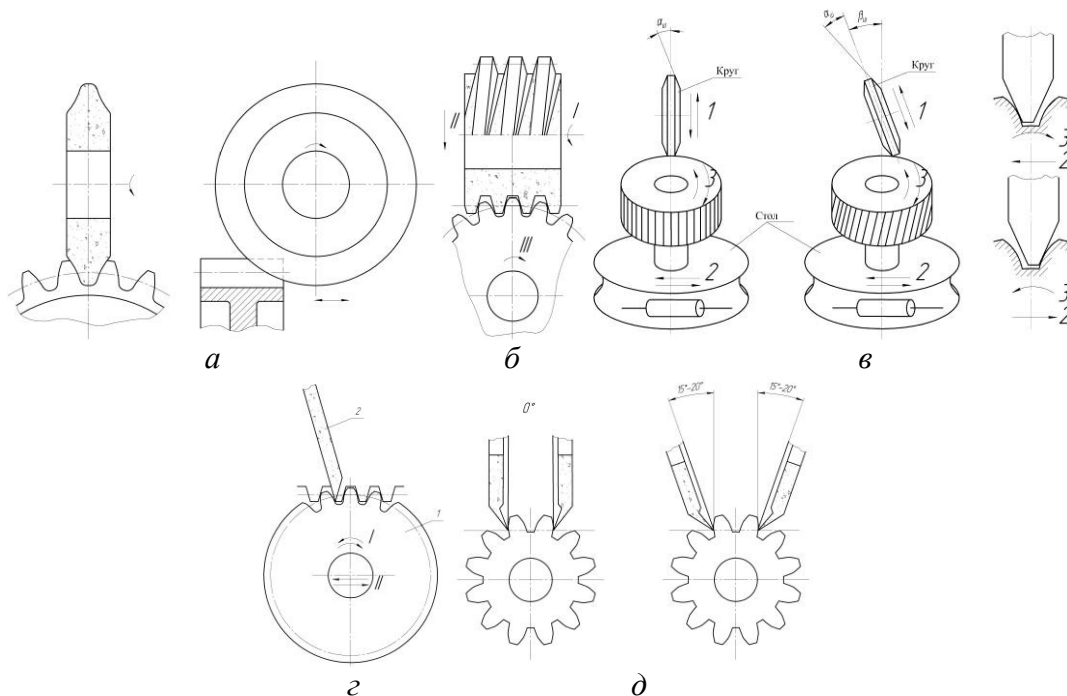


Рис. 1. Схемы шлифования зубчатых колес различными методами: а – копирования; б – обката абразивным червяком; в – обката конусным кругом; г – обката плоским кругом; д – обката двумя тарельчатыми кругами

Метод обката предусматривает зацепление обрабатываемого колеса с зубом рейки, воспроизводимой поверхностями шлифовального круга. Наиболее производителен метод непрерывного шлифования абразивным червяком (рис. 1, б). При шлифовании зубьев методом обката с периодическим делением применяют различные типы абразивных кругов: один конусный круг (рис. 1, в), один плоский круг (рис. 1, г), два тарельчатых круга (рис. 1, д). Шлифовальные круги могут занимать различные положения относительно обрабатываемого колеса, а именно: параллельно между собой на расстоянии, равном длине общей нормали обрабатываемого колеса (0-градусный метод шлифования) или под различными углами (как правило, 15 или 20°) [3].

При шлифовании методом обката с периодическим делением двумя тарельчатыми кругами (на станках типа «MAAG») обеспечивается точность колес, начиная с 3 степени. Методы непрерывного шлифования червячным кругом (на станках типа «Reishauer») и обката с периодическим делением коническим шлифовальным кругом (на станках типа «Niles») уступают по точности шлифованию зубчатых колес двумя тарельчатыми кругами.

Диаграмма сравнения основного времени обработки различными методами шлифования зубчатых колес с модулем $m = 5$ мм и количеством зубьев $z = 45$ показано на

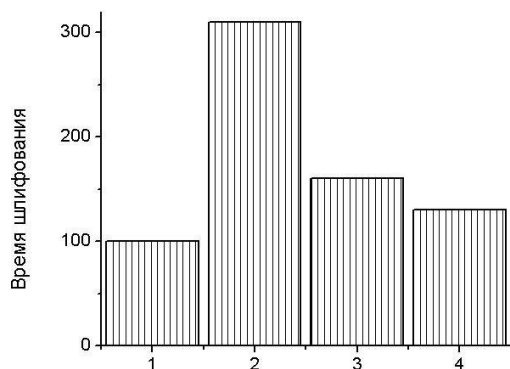


Рис. 2. Диаграмма сравнения основного времени обработки различными методами шлифования зубчатых колес ($m = 5$ мм; $z = 45$): 1 – тарельчатыми кругами; 2 – абразивным червяком; 3 – коническим кругом; 4 – профильным кругом

рис. 2. Наиболее высокая производительность достигается при непрерывном шлифовании методом обката абразивным червяком, наиболее низкая – при шлифовании тарельчатыми кругами; при шлифовании профильным и коническим кругом получают промежуточное значение [2].

Анализируя результаты сравнения различных методов зубошлифования, следует отметить, что метод шлифования двумя тарельчатыми кругами, наиболее низко производителен. Такой метод предназначен для шлифования высокоточных колес (3–4 степень точности), что не обеспечивается другими методами. Исключением является метод

копирования, однако обеспечение высокой точности сопряжено с большими затратами по подготовке шлифовального инструмента.

Перспективный путь дальнейшего развития методов шлифования высокоточных зубчатых колес в значительной степени связан с применением инструмента из кубического нитрида бора (КНБ) [4]. Шлифование кругами из КНБ по сравнению с обработкой обычными абразивами имеет определенные особенности [4]: шлифовальные круги из КНБ существенно более высокой износостойкости; их использование обеспечивает повышение качества поверхностного слоя обработанных изделий; создается возможность шлифования без правки кругов или при минимальном использовании.

В настоящем исследовании зубчатые колеса шлифовали на специальном стенде, созданном на базе зубошлифовального станка модели 5891, работающего с одним тарельчатым кругом. Станок модернизировали для шлифования зубчатых колес с охлаждением и правкой кругов электроэрозийным методом [5]. При этом применялись тарельчатые круги формы 12A2-20° из КНБ зернистостью 125/100. Шлифовали зубчатые

колеса из стали ХВГ (62 HRC) с модулем $m = 6$ мм, количеством зубьев $z = 21$, шириной венца $B = 20$ мм.

Работоспособность тарельчатых кругов из КНБ при шлифовании зубчатых колес оценивали по следующим показателям: мощности шлифования (N), шероховатости обработанной поверхности (Ra), точности эвольвентного профиля зуба (f_j), величине съема обрабатываемого материала и износу круга. Износ тарельчатого круга оценивали по изменению профиля слепка, оставленного на тонкой металлической пластине режущей частью вращающегося круга. Износ круга определяли по двум параметрам: износу по торцу h и диаметру l .

Предварительно испытали на работоспособность кругов из КНБ на органической связке (круги 12А2 225×3×1,5×40 КРС 125/100 100% В2-08), белого электрокорунда (круги тип 12 225×3×40 24А 16 СМ2 6К5) и хромистого электрокорунда (круги тип 12 225×3×40 А89 16 СМ2 6К5). В качестве охлаждающей жидкости использовали масло «Индустриальное 12».

Анализ результатов шлифования показал, что эффективная мощность шлифования зубчатых колес при обработке кругами из КНБ в 2 раза ниже, чем кругами из белого электрокорунда и в 1,5 раза ниже, чем кругами из хромистого электрокорунда. Процесс шлифования кругами из электрокорунда сопровождался интенсивным износом круга и потерей их режущей способности, что вызывало необходимость правки круга через каждые 3–5 зубьев. Правку кругов из КНБ осуществляли после полного оборота колеса.

После обработки результатов исследования эффективной мощности пришли к выводу, что мощность зубошлифования зависит от глубины резания и продолжительности обката. Графики зависимости мощности шлифования зубчатого колеса кругами из белого электрокорунда и КНБ с охлаждением показаны на рис. 3, а, без охлаждения – на рис. 3, б.

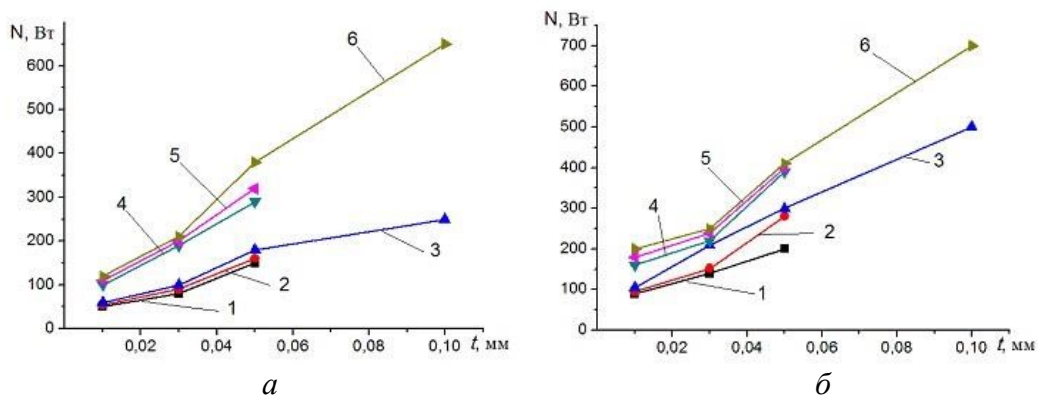


Рис. 3. Графики мощности зубошлифования: а – с охлаждением; б – без охлаждения (1, 4 при $\tau = 3$ с; 2, 5 при $\tau = 5$ с; 3, 6 при $\tau = 8$ с); 1, 2, 3 – круги из КНБ; 4, 5, 6 – круги из электрокорунда

Анализ результатов показал, что в случае интенсивного охлаждения мощность шлифования при использовании шлифовальных кругов из КНБ снижается в 1,5–2 раза. В случае использования кругов из электрокорунда при охлаждении мощность шлифования снижается на 20–50 %. На всех исследуемых режимах обработки мощность шлифования при использовании кругов из КНБ ниже в 1,5–2 раза, чем при использовании кругов из электрокорунда. Причем эта разница имеет тенденцию к увеличению с использованием охлаждения и увеличением глубины резания.

Параллельно с исследованием кругов на работоспособность по критерию мощности шлифования оценивали шероховатость (Ra) эвольвентной поверхности зубчатых колес. Графики изменения шероховатости поверхности зубчатых колес после обработки без охлаждения показаны на рис. 4, а, с охлаждением – на рис. 4, б.

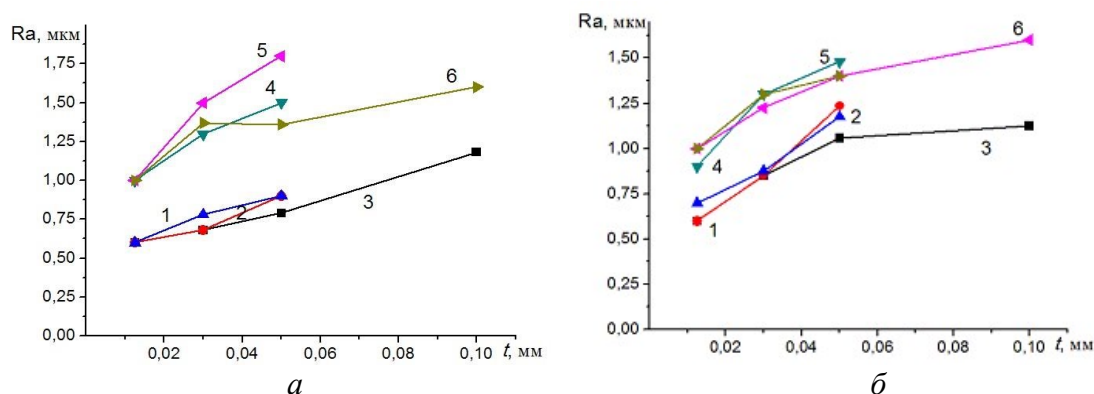


Рис. 4. Графики шероховатости поверхности зуба после обработки: а – с охлаждением; б – без охлаждения (1, 4 при $\tau = 3$ с; 2, 5 при $\tau = 5$ с; 3, 6 при $\tau = 8$ с); 1, 2, 3 – круг из КНБ; 4, 5, 6 – круг из электрокорунда

Проанализировав результаты исследования шероховатости, пришли к выводу о высокой шероховатости эвольвентной поверхности зубьев $Ra 1,0$ при шлифовании кругами из КНБ. Это обусловлено содержанием агрегированных зерен КНБ с покрытием стеклом размером до 0,5–1 мм. На всех исследуемых режимах обработки фиксировали повышение шероховатости поверхности при уменьшении продолжительности обката зубчатого колеса, причем при обработке без охлаждения эта тенденция более выражена. Заметна также более высокая разница шероховатости при обработке с охлаждением между электрокорундом и КНБ. Так, при обработке без охлаждения разница составляет в среднем 20%, с охлаждением – до 45%. Глубина резания на всех исследуемых диапазонах не существенно влияла на шероховатость поверхности, хотя тенденция к повышению шероховатости наблюдалась, причем для кругов из электрокорунда характернее.

Результаты испытания кругов из КНБ с металлопокрытием зерен (круги 12A2 225×3×3×40 КРМ 125/100 100% В2-08) показали, что шероховатость зуба при их применении снижалась в 2 раза по сравнению с кругами из КНБ с покрытием стеклом и составляла $Ra 0,65$. Мощность шлифования повышалась на 10–20%, износ кругов достиг уровня с применением кругов из КНБ с покрытием стеклом.

Дальнейшие исследования процесса шлифования были направлены на определение износа тарельчатых кругов из КНБ. Исследовали общую закономерность износа тарельчатого шлифовального круга из КНБ и точность обработки эвольвентного профиля зубчатого колеса.

График изменения погрешности профиля f_f в зависимости от количества обработанных зубьев показан на рис. 5. Увеличение погрешности профиля до $f_f = 14 \pm 0,1$ мкм после шлифования первых двух-трех зубьев обусловлено деформацией технологической системы от усилий резания. При дальнейшем шлифовании зубчатого колеса на первом проходе погрешность профиля составила $f_f = 10,0 \pm 0,5$ мкм.

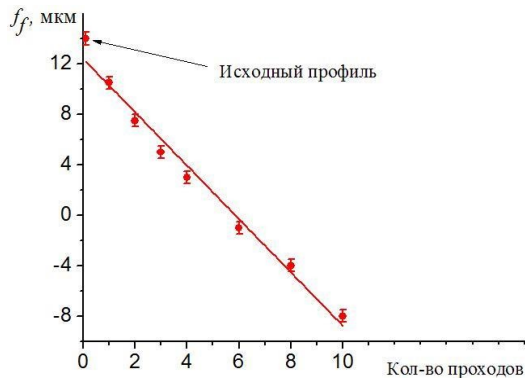


Рис. 5. График зависимости изменения погрешности профиля f_f от количества проходов

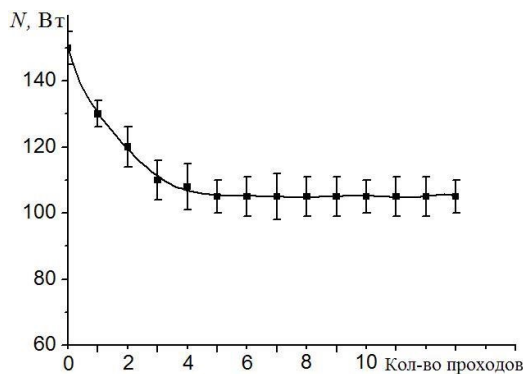


Рис. 6. График зависимости изменения мощности N от количества проходов

Плавное снижение погрешности на последующих проходах обусловлено компенсацией этих деформаций вследствие износа круга, что подтверждается резким отрицательным отклонением профиля, полученным в результате выхаживающих проходов после десяти циклов с глубиной резания $t = 0,05$ мм.

Характер изменения мощности по проходам (рис. 6) свидетельствует о снижении мощности на первом проходе с $150 \pm 1,0$ до $130 \pm 1,0$ Вт и затем до $120 \pm 1,0$ Вт, а также стабилизации мощности шлифования после четырех проходов на уровне $105 \pm 1,0$ Вт.

Результаты анализа графиков погрешности профиля зуба и мощности резания показали, что при обработке зубчатого колеса режущая способность круга не снижается. Наблюдается размерный износ круга, о чем свидетельствует изменение значений $l = 2,2$ мм и $h = 0,13$ мм, а также изменение фактического съема после каждого прохода (коэффициент съема припуска увеличился с 0,5 до 0,7).

В результате исследований установили, что при черновом шлифовании после первого прохода на режущей кромке круга формируется площадка износа $h = 30-50$ мкм, что соответствует приработочному износу.

Аналогичный результат получили при финишном шлифовании зубчатых колес: на режущей кромке круга формируется площадка износа, однако, гораздо меньшая - до $h = 30$ мкм.

Проанализировав результаты изменения мощности шлифования, пришли к выводу, что в течение всей обработки мощность резания не изменяется. Не изменяется также фактический съем материала, который составляет 0,61–0,5. Из этого следует, что в процессе шлифования зубчатых колес тарельчатый круг из КНБ работает в режиме самозатачивания. Изменяются только геометрические параметры шлифовального круга за счет его износа. Для уменьшения периода приработки шлифовального круга из КНБ на режущей кромке необходимо предварительно за счет соответствующей правки сформировать фаску размером $h = 0,03-0,05$ мм.

Розглянуто питання підвищення ефективності шліфування високоточних зубчастих коліс 3–4 ступеня точності, при використанні інструментів з надтвердих матеріалів. Досліджено працездатність тарілчастих шліфувальних кругів з кубічного нітриду бору на різних зв'язках і надано рекомендації щодо їх застосування при зубошліфуванні.

Ключеві слова: шліфування, зубчасті колеса, алмазно-абразивний круг.

GRINDING OF GEAR WHEELS BY DIAMOND-ABRASIVE WHEELS

The problems of increasing the efficiency of grinding highly precision gearwheels of the 3–4 degree of precision using superhard material tools are discussed. The efficiency of cubic boron nitride dish grinding wheels in various bonds has been studied. Recommendations how to use cubic boron nitride wheels in gear grinding are given.

Key words: grinding, gears, diamond and abrasive wheels.

Литература

1. Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник / Под ред. А. Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с.
2. Бенкин В. А. Прогрессивные методы финишной обработки цилиндрических зубчатых колес: обзор. – М.: Изд-во НИИМаш, 1989. – 40 с.
3. Сильвестров Б. Н. Зубошлифовальные работы. – М.: Высш. шк., 1985. – 272 с.
4. Мишнаевский Л. Л. Износ шлифовальных кругов. – К.: Наук. думка, 1982. – 192 с.
5. Рябченко С. В. Шлифование зубчатых колес тарельчатыми кругами из СТМ // Сверхтвердые матер. – 2014. – № 6. – С. 81–89.

Поступила 26.05.17

УДК 679.8; 621.923

В. В. Пегловский, канд. техн. наук

ГП ИПЦ «Алкон» НАН Украины, г. Киев

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ АЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКИ ГОРНЫХ ПОРОД НА ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ

В результате анализа более ранних исследований и обобщения практического опыта изготовления производственно-технических, строительных, интерьерных и декоративно-художественных изделий из различных горных пород и минералов установлены рациональные параметры шлифования этих пород для фрезерных станков.

Ключевые слова: горные породы и минералы, алмазный инструмент, шлифование, фрезерный станок, технологические параметры обработки.

Введение

Технологические параметры обработки (шлифования) горных пород и минералов (природных декоративных и полудрагоценных камней) с применением плоскошлифовальных станков и станков для резания рассмотрены в [1; 2]. При использовании таких станков можно получать заготовки производственно-технических, строительных, интерьерных и декоративно-художественных изделий [3; 4], профиль которых обусловлен геометрической формой и размерами обрабатывающего инструмента. Для изготовления изделий, деталей или отдельных элементов в виде тел вращения используют различные модели токарных станков [5].

Однако при обработке горных пород и минералов, относящихся к декоративным и полудрагоценным камням [6], изготовлении изделий или отдельных элементов из них иногда используют различные виды фрезерных станков.