

С.В. Рябченко, н.с.

*Институт сверхтвердых материалов
им. В.Н. Бакуля НАН Украины***ОБРАБОТКА ШЛИФОВАНИЕМ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС
ТАРЕЛЬЧАТЫМИ КРУГАМИ ИЗ СТМ**

Рассматриваются вопросы повышения эффективности шлифования высокоточных зубчатых колес 3–4 степеней точности, основанной на использовании инструмента из сверхтвердых материалов. Исследована работоспособность тарельчатых шлифовальных кругов на различных связках и даны рекомендации по их применению при зубошлифовании.

Ключевые слова: *зубошлифование, тарельчатые шлифовальные круги, высокоточные зубчатые колеса, сверхтвердые материалы.*

Постановка проблемы. Зубошлифование является одним из методов финишной обработки закаленных зубчатых колес. Шлифование прецизионных и высокоточных зубчатых колес с внешними прямыми и косыми зубьями производится по методу обката на зубошлифовальных станках, работающих двумя абразивными кругами [1].

Целью наших исследований было изучение работоспособности и износа тарельчатых кругов и разработка на их основе технологии финишного шлифования зубчатых колес [3].

Исследование осуществляли на специальном стенде, созданном на базе зубошлифовального станка модели 5891 [3]. Станок был модернизирован для шлифования зубчатых колес с охлаждением и правкой кругов электроэрозионным методом. Зубошлифовальный станок настраивали на нулевой метод шлифования зубчатых колес. Скорость шлифовального круга $v_k = 27$ м/с, глубина шлифования $t = 0,01–0,1$ мм.

Изложение основного материала. 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 $z = 21$ зуб, 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: износом по торцу – h и по диаметру – l .

Исследования работоспособности тарельчатых кругов из КНБ при зубошлифовании на керамических, металлических и органических связках производили при интенсивном охлаждении зоны шлифования. Предварительные испытания показали, что при работе без охлаждения на поверхности зубчатого колеса образуются "прижоги", а шлифовальные круги быстро теряют режущую способность. Анализ результатов показал, что мощность шлифования кругами из КНБ на керамической связке на 30–40 % выше по сравнению со шлифованием кругами из КНБ на органических связках. При прямом и обратном ходе каретки станка мощность шлифования практически не зависит от времени обката зубчатого колеса, хотя небольшой рост мощности замечен при уменьшении времени обката. Шлифование зубчатых колес кругами из КНБ на керамической связке обеспечивало высокую точность ($f_{jr} = 4\text{--}5$ мкм) эвольвентного профиля зуба по сравнению с исходным профилем ($f_{jr} = 8\text{--}14$ мкм). Исследование работоспособности тарельчатых кругов из КНБ на металлической связке (12A2-20° 225×3×3×40–КР 125/100–M2-09–100) производили с использованием правки круга электроэрозионным методом. Установлено, что мощность шлифования кругами из КНБ на металлической связке при прямом и обратном ходе каретки станка на 15–20 % выше по сравнению со шлифованием кругами из КНБ на органических связках. Шероховатость поверхности зубчатого колеса при всех исследуемых режимах соответствовала Ra 0,7–0,75, при этом ее большее значение определялось меньшим значением времени обката ($t = 3$ с). Глубина резания на шероховатость не оказывала существенного влияния.

Шлифование зубчатых колес кругами из КНБ на металлической связке обеспечивает высокую точность эвольвентного профиля зуба ($f = 5\text{--}6$ мкм) по сравнению с исходным профилем ($f = 11\text{--}12$ мкм). Для получения высокой точности эвольвентного профиля необходимо проведение 2–3 чистовых проходов с последующим выхаживанием. Шлифование зубчатых колес кругами из КНБ на металлических связках обеспечивает разность соседних шагов зубчатого колеса равным 2–4 мкм, что является показателем высокой точности обработки.

Зависимость погрешности эвольвенты и мощности шлифования от числа обработанных зубьев за 16 проходов приведены на рисунках 1 и 2 соответственно.

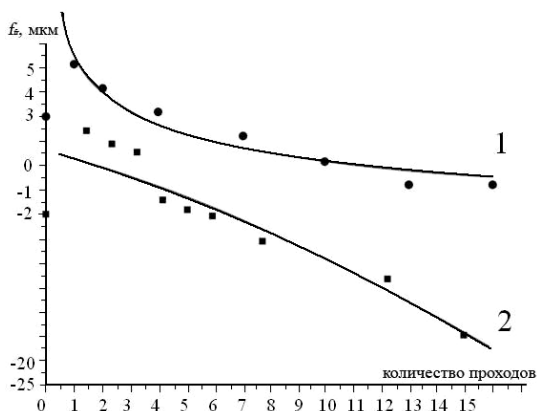


Рис. 1. Зависимость погрешности профиля f_{pr} от количества проходов (1 – при $t = 0,05$ мм, 2 – при $t = 0,02$ мм)

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. 3, 4). 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.

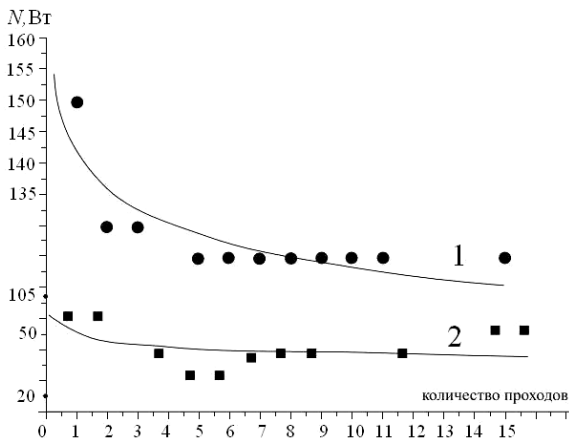


Рис. 2. Залежність потужності шліфування N від кількості проходів (1 – при $t = 0,05$ мм, 2 – при $t = 0,02$ мм)

Аналіз проведених експериментів показав, що лімітуючим параметром точності обробки зубчатого колеса є розмірний знос тарельчатого круга, який практично пропорційний кількості оброблених зубців без правки.

Величина износа определяет точность обрабатываемого зубчатого колеса. Изменение износа показывает, что после ускоренного периода приработки круга в течение первого прохода величина его в дальнейшем стабилизируется. В течение всей 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.

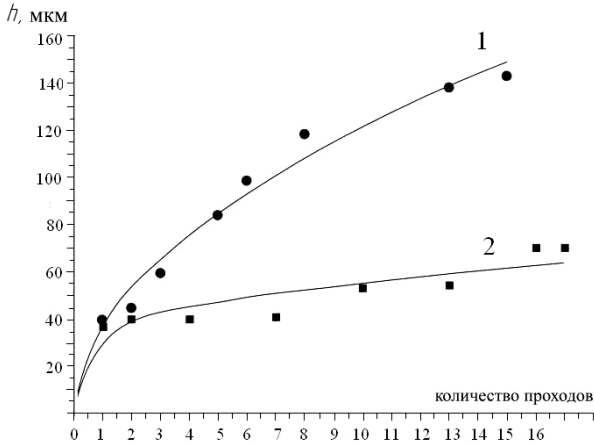


Рис. 3. Зависимость износа круга по торцу h от количества проходов (1 – при $t = 0,05$ мм, 2 – при $t = 0,02$ мм)

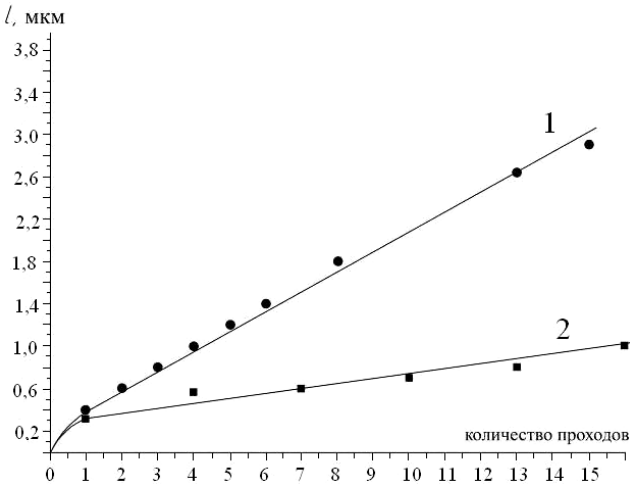


Рис. 4. Зависимость износа круга по диаметру l от количества проходов (1 – при $t = 0,05$ мм, 2 – при $t = 0,02$ мм)

Проведенные предварительные исследования моделирования процесса зубошлифования на станке мод. 5891 показали высокую эффективность обработки зубчатых колес тарельчатыми кругами из сверхтвёрдых материалов. Эти исследования позволили уточнить

конструкции основных узлов базового станка и предложить новую конструкцию специального зубошлифовального станка, работающего тарельчатыми кругами из СТМ и имеющего специальный механизм электроэрозионной правки. Такой станок (рис. 5) был спроектирован и изготовлен на базе серийного зубошлифовального станка мод. 5А851 предназначенного для работы двумя тарельчатыми кругами.

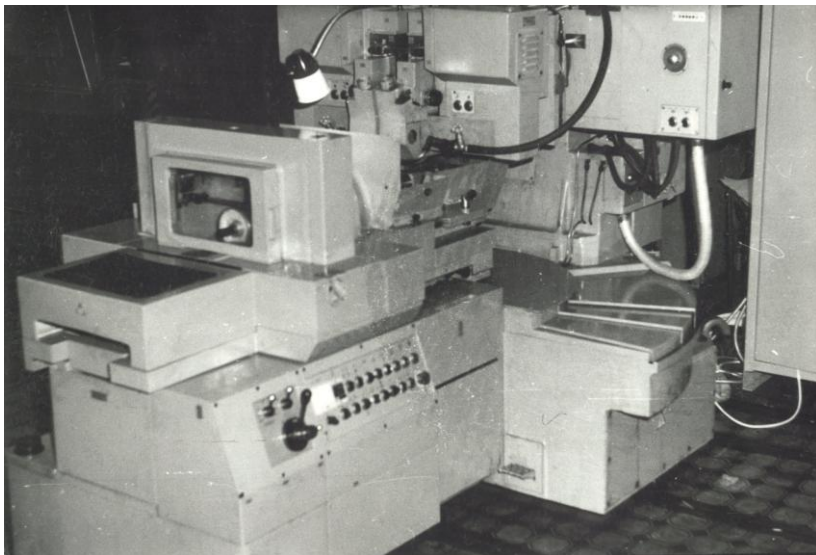


Рис. 5. Общій вид спеціального зубошлифовального станка

Основным отличием специального станка от базовой модели является наличие системы охлаждения и специального устройства правки кругов из СТМ.

В случае шлифования зубчатых колес кругами из СТМ на керамических связках было проведено изменение механизма правки алмазными карандашами, направленное на повышение жесткости механизма правки. Для правки кругов из СТМ на металлических связках было разработано специальное устройство правки, работающее в автоматическом цикле.

Для осуществления технологии шлифования зубчатых колес нами были разработаны тарельчатые шлифовальные круги на металлических связках формы 12V9, техническая документация и оснастка для их изготовления.

Специальные тарельчатые шлифовальные круги из СТМ предназначены для работы на специальном зубошлифовальном станке,

снабженном устройством электроэрозионной правки. Шлифовальные круги могут изготавливаться двух типоразмеров диаметрами 225 мм и 275 мм (рис. 6). Корпус тарельчатого круга изготовлен из стали, что дает возможность повысить жесткость корпуса по сравнению с алюминиевыми корпусами и обеспечить передачу электрического тока при правке круга.

Алмазосный слой круга выполнен под углом 5° , что позволяет предотвратить "затираание" эвольвентной поверхности зуба при шлифовании зубчатого колеса. Размер (5×2 мм) алмазосного слоя позволяет полноценнее использовать шлифовальный круг при проведении правки.

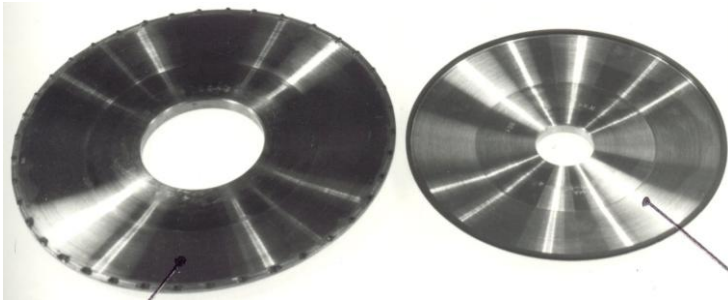


Рис. 6. Специальные тарельчатые шлифовальные круги из СТМ

Для отработки технологического процесса шлифования зубчатых колес была проведена опытная обработка. Обработывались зубчатые колеса из цементированной и закаленной стали 14ХГСН2МА-Ш (56–62 HRC) (модуль $m = 4$ мм, число зубьев $z = 41$, ширина венца 55 мм, угол профиля $\alpha = 28^\circ$). Для шлифования использовали тарельчатые круги диаметром 275 мм из кубического нитрида бора марки КР, зернистостью 125/100 на керамической связке С10. Обработку производили на специальном зубошлифовальном станке с охлаждением маслом "Индустриальное-12".

Зона обработки зубчатого колеса приведена на рисунке 7. Производили два цикла шлифования каждого зубчатого колеса. После каждого шлифования производили измерение точности зубчатого колеса и контроль качества его поверхности.

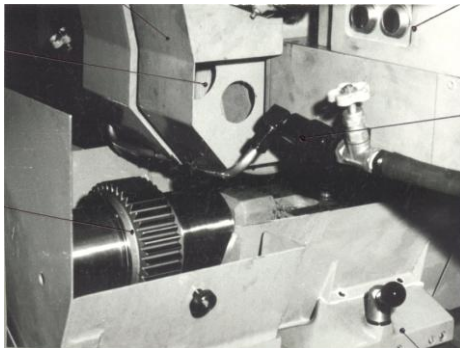


Рис. 7. Зона обробки зубчатого колеса

Шлифование производили на следующих режимах обработки:

- скорость стола на черновых режимах — 600 мм/мин.;
- скорость стола на чистовых режимах — 170 мм/мин.;
- подача на врезание на черновых проходах, мм: 5 проходов – 0,04; 2 прохода – 0,03; 1 проход – 0,02; 1 проход – 0,01; 1 проход – выхаживание без подачи;
- на чистовых проходах, мм: 2 прохода – 0,005; 1 проход – выхаживание без подачи;
- частота правки круга – через 40 зубьев при черновых проходах;
- без правки – при чистовых проходах;
- время шлифования – 4 ч.

Результаты шлифования:

- разность шагов – 2,2 мкм;
- накопленная погрешность шага – 7 мкм;
- погрешность профиля зуба – 3 мкм;
- погрешность направления зуба — 4 мкм;
- шероховатость поверхности – 0,63 мкм.

Анализ результатов показал, что при шлифовании тарельчатыми кругами из КНБ на специальном станке получены зубчатые колеса из железоуглеродистых сталей, полностью удовлетворяющие требованиям заказчика по точности и качеству обработки. Производительность шлифования возрастает в 1,5–2 раза по сравнению с принятой. Шероховатость поверхности зубчатого колеса Ra 0,63 превосходит требуемую Заказчиком шероховатость (Ra 0,7–0,75).

В результате измерения зубчатых колес после шлифования на измерительной машине МААГ Р-130 получены следующие результаты: после первого цикла шлифовки точность по направлению зуба $F_b = 8\text{--}11$ мкм и профиль эвольвенты $f_f = 3$ мкм с левой и правой сторон зубов, взятых через 90° ; после второго цикла шлифовки аналогично точность по направлению зуба $F_b = 3\text{--}4$ мкм и профиль эвольвенты $f_f = 2\text{--}3$ мкм слева и справа.

Вывод. Таким образом, разработанная технология зубошлифования, основанная на кругах из КНБ и специальном оборудовании, позволила повысить производительность обработки, обеспечить требуемое качество и точность зубчатых колес из железоуглеродистых сплавов.

Список использованной литературы:

1. Гулида Э.Н. Технология отделочных операций зубообработки цилиндрических колес / Э.Н. Гулида. – Львов : Издат. объединение "Вища школа", 1977. – 168 с.
2. Мишинаевский Л.Л. Износ шлифовальных кругов / Л.Л. Мишинаевский. – К. : Наук. думка, 1982. – 192 с.
3. Рябченко С.В. Разработка технологии шлифования зубчатых колес тарельчатыми кругами из СТМ / С.В. Рябченко // 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. –С. 161–168.

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

Научные интересы:

- алмазно-абразивная обработка зубчатых колес;
- алмазно-абразивные инструменты.

Статья поступила в редакцию 05.09.2013

Рябченко С.В. Обробка шліфуванням зубчастих коліс тарільчастими кругами з НТМ

Рябченко С.В. Обработка шлифованием зубчатых колес тарельчатыми кругами из СТМ

Рябченко С.В. Обработка шлифованием зубчатых колес тарельчатыми кругами из СТМ

УДК 621.923

Обробка шліфуванням зубчастих коліс тарільчастими кругами з НТМ / С.В. Рябченко

Розглядаються питання підвищення ефективності шліфування високоточних зубчастих коліс 3–4 ступеня точності, заснованої на використанні інструмента з надтвердих матеріалів. Досліджена працездатність тарільчастих шліфувальних кругів на різних зв'язках і дані рекомендації з їхнього застосування при зубошліфуванні.

УДК 621.923

Обробка шліфуванням зубчастих коліс тарільчастими кругами з НТМ / С.В. Рябченко

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.