

УДК 621.923.4

С.В. РЯБЧЕНКО, Киев, Украина

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ШЛИФОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС АЛМАЗНО-АБРАЗИВНЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

Розглянуто питання підвищення якості шліфування зубчастих коліс при використанні інструментів з електрокорунду та КНБ.

Ключові слова: зубчасті колеса, шліфування

Рассмотрены вопросы повышения качества шлифования зубчатых колес при использовании инструментов из электрокорунда и КНБ

Ключевые слова: зубчатые колеса, шлифование

The problems of increasing the grinding gears quality in using aluminum oxide and cBN tools are discussed.

Keywords: toothed wheels, gears

В машиностроении одним из путей реализации задачи повышения производительности обработки, является широкое применение новых абразивных и алмазных инструментов. Алмазно-абразивная обработка позволяет обеспечить требуемые точность и качество деталей при высокой производительности, а значит, обеспечить высокую надежность и долговечность машиностроительной продукции в процессе эксплуатации [1].

Для повышения точности и надежности изготовления таких деталей машиностроения, как зубчатые колеса находит широкое применение шлифование эвольвентного профиля зубьев.

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

Шлифуют зубчатые колеса методами обката с непрерывным или периодическим делением и копирования с периодическим делением [3].

Метод копирования основан на воспроизведении рабочей поверхностью шлифовального круга впадины зубьев шлифуемого колеса (рис. 1, а). Фасонная форма рабочих поверхностей круга образуется в процессе правки. Этот способ зубошлифования в основном применяется для обработки цилиндрических колес с прямыми внешними зубьями с точностью не выше 6 степени, шероховатостью поверхности зуба в пределах Ra 0,32-1,25, диаметром до 1350 мм, модулем до 16 мм [4].

Метод обката предусматривает зацепление обрабатываемого колеса с зубом рейки, воспроизводимой поверхностями шлифовального круга.

Наиболее производителен метод непрерывного шлифования абразивным червяком (рис. 1, б). Образование профиля и правку витка абразивного червяка выполняют алмазными резцами или алмазными роликами. Шлифование зубьев абразивным червяком позволяет получать зубчатые колеса 5-6 степени точности с шероховатостью поверхности Ra 0,2-1,0 [4].

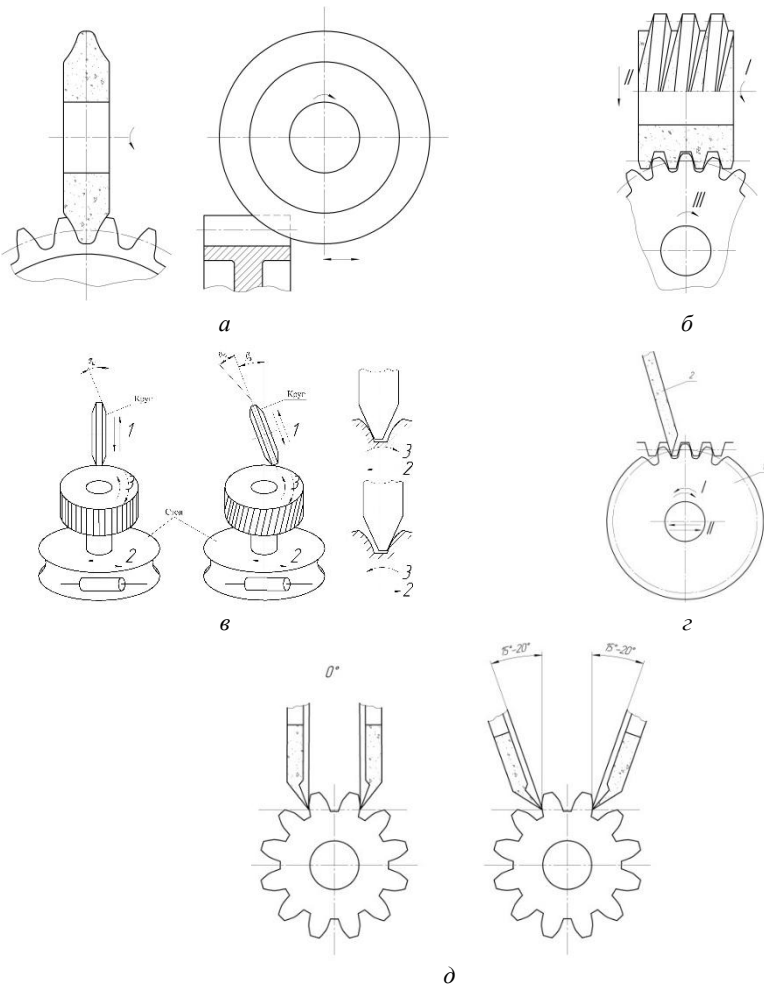


Рисунок 1 – Схемы шлифования зубчатых колес различными методами:
 а – копирования; б – обката абразивным червяком;
 в – обката конусным кругом; г – обката плоским кругом;
 д – обката двумя тарельчатыми кругами

Шлифование зубьев методом обката с периодическим делением осуществляется различными типами абразивных кругов. Одним конусным кругом, одним плоским кругом или двумя тарельчатыми кругами. При шлифовании конусным кругом, колесо или шлифовальная бабка совершает возвратно-поступательное движение в направлении, перпендикулярном к оси колеса (движение 1), и одновременно колесо поворачивается, соответственно скатыванию его по производящей рейке (движение 2) (рис. 1, в). Точность зубчатых колес, обработанных одним конусным кругом, достигает 5–6 степени, а шероховатость поверхности – Ra 0,2–1,0 [4].

Зубошлифование методом обката плоским кругом большого диаметра производится по схеме, показанной на рис. 1, з. В процессе обработки рабочая торцевая поверхность круга воспроизводит профиль одной боковой стороны зуба исходного контура рейки. При шлифовании плоским кругом достигается точность обработанных колес в пределах 3-4 степени точности и шероховатость поверхности зубьев – Ra 0,2-1,0 [4].

Зубошлифование методом обката двумя тарельчатыми кругами осуществляется по схеме, приведенной на 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.

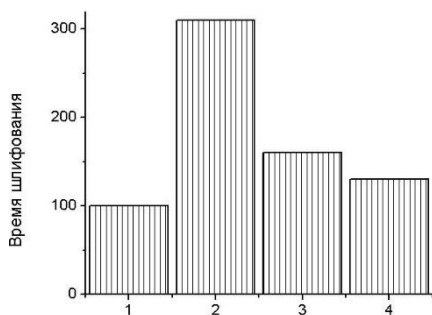


Рисунок 2 – Диаграмма сравнения основного времени обработки различными методами шлифования зубчатых колес ($m = 5$ мм; $z = 45$):

- 1 – тарельчатыми кругами; 2 – абразивным червячком;
3 – коническим кругом; 4 – профильным кругом

Диаграмма сравнения основного времени обработки различными методами шлифования зубчатых колес с модулем $m = 5$ мм и количеством зубьев $z = 45$ показаны на рис. 2. Наиболее высокая производительность достигается при непрерывном шлифовании методом обката абразивным червяком, наименее 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 степени точности), что не обеспечивается другими методами. Исключением является метод копирования, однако обеспечение высокой точности сопряжено с большими затратами по подготовке шлифовального инструмента.

При современном развитии технологии возможно создание алмазно-абразивных инструментов со свойствами, необходимыми для обеспечения обработки деталей с наибольшей эффективностью при заданных требованиях к качеству и точности размеров. При разработке новых абразивных инструментов важная роль принадлежит абразивным материалам и связкам шлифовальных кругов [5].

К абразивным материалам относятся следующие искусственные материалы: Карбид бора – абразивный материал серовато-черного цвета, содержащий до 93% чистого карбида бора. По твердости (по Моосу 9,32) уступает только алмазу и КНБ. Карбид кремния – абразивный материал черного или зеленого цвета. Твердость по Моосу 9,1. Электрокорунд – абразивный материал, состоящий из корунда и небольшого количества примесей. Промышленность производит различные виды электрокорунда: нормальный, белый, хромистый, титанистый, циркониевый, монокорунд и различные смеси корундов. В последнее время появилась особая разновидность монокорунда – золь-геливый электрокорунд. Особенностью данного электрокорунда является микроскалывание зерен в процессе шлифования, что приближает его по качеству к зернам кубического нитрида бора (КНБ).

Сверхтвердые материалы - синтетический алмаз и кубический нитрид бора (КНБ). Алмаз представляет собой кристаллическую модификацию углерода. Кристаллическая решетка алмаза кубическая. Алмаз самый твердый абразивный материал. Кубический нитрид бора (КНБ) – искусственный материал, не встречающийся в природе. Он синтезируется из нитрида бора. При синтезе образуется кристаллическая решетка похожая на решетку алмаза. По твердости КНБ уступает только алмазу. Преимуществом КНБ перед алмазом как инструментальным материалом является его высокая теплостойкость и диффузионная устойчивость.

В производстве алмазно-абразивных кругов для шлифования зубчатых колес используются, в основном, различные разновидности электрокорундов и кубический нитрид бора. Из этих абразивных материалов изготавливаются тарельчатые круги для станков «MAAG», чашечные круги для станков «Gleason», конические круги для станков «Niles» и червячные круги для станков «Reishauer».

Из всего многообразия абразивных материалов, из которых изготавливаются шлифовальные круги для зубошлифования, особое место принадлежит электрокорунду, и в частности, хромистому корунду (рис. 3).



Рисунок 3 – Шлифовальные круги из хромистого корунда:
 а) тарельчатые круги для станка «MAAG»,
 б) конический круг для станка «Niles» - «ZSTZ»

Тарельчатые шлифовальные круги из хромистого электрокорунда использовались на АО «АЗОВОБЦЕМАШ» (г. Мариуполь) при шлифовании зубчатых колес на зубошлифовальном станке фирмы «MAAG» SD-32X. Шлифовались зубчатые колеса модуля $m = 5$ мм, число зубьев $z = 15$. Результаты испытаний показали, что при шлифовании зубчатых колес тарельчатыми кругами из хромистого электрокорунда диаметром 280 мм производительность обработки повышается в 1,2 раза по сравнению с кругами из белого электрокорунда при сохранении необходимой точности и качества обработки.

Аналогичные испытания были проведены в условиях ГП ЗМКБ «Ивченко-Прогресс» (г. Запорожье). Шлифовались зубчатые колеса из закаленной стали ДИ-3А модуль $m = 1,5-6,0$ мм, число зубьев z от 24 до 80, ширина венца $B = 15-100$ мм. Шлифование зубчатых колес производилось на зубошлифовальном станке фирмы «MAAG» HSS-30. Испытывались шлифовальные круги диаметром 280 мм из смеси электрокорундов А89 60К 8V и хромистого электрокорунда А98 60 К 8 V. Результаты испытаний, показали, что производительность

обработки при шлифовании зубчатых колес тарельчатыми кругами из хромистого электрокорунда повышается в 1,2 раза по сравнению с кругами из смеси электрокорундов А89 при сохранении необходимой точности и качества обработанной поверхности эвольвентного профиля зуба.

Зубошлифование тарельчатыми кругами из хромистого электрокорунда было проведено на ПАО «Мотор-Сич» (г. Запорожье) при шлифовании высокоточных зубчатых колес из закаленной стали 12Х2Н4А модуля $m = 3$ мм, число зубьев $z = 31$, ширина венца $B = 45$ мм. При шлифовании зубчатых колес использовались тарельчатые круги диаметром 225 мм из хромистого электрокорунда А98 46 L 7 V в сравнении с кругами из белого электрокорунда. Результаты испытаний показали, что производительность обработки зубчатых колес тарельчатыми кругами из хромистого электрокорунда повышается в 1,3 раза по сравнению с кругами из белого электрокорунда, применяемого в данный момент на предприятии. При этом сохраняется необходимая точность эвольвентного профиля зуба и качество обработанной поверхности.

Шлифование зубчатых колес коническими кругами из хромистого электрокорунда было проведено на зубошлифовальном станке «Niles» - «ZSTZ» в условиях АО «АЗОВОБЩЕМАШ» (г. Мариуполь). Шлифовались зубчатые колеса модуль $m = 6$, число зубьев $z = 16$. Использовались конические круги из хромистого электрокорунда размером 400x32/4x127x60 характеристиками А98 60 Is(K) 9 V. Результаты испытаний, показали, что производительность обработки коническими кругами из хромистого электрокорунда повышается в 1,5 раза по сравнению с коническими кругами из белого электрокорунда.

Еще одним из направлений шлифования зубчатых колес является зубошлифование абразивным червяком на станках типа «Reishauer». Шлифовались зубчатые колеса мелкого модуля $m=1.4$ мм на предприятии «Каменский машиностроительный завод». Использовались шлифовальные круги из розового электрокорунда (А94) размером 350x63x160, характеристиками А94 150 Is 7 V. Розовый электрокорунд это смесь 70% белого электрокорунда (А99В) и 30% хромистого электрокорунда (А98). Результаты шлифования зубчатых колес показали повышение производительности обработки на 30% кругами из розового корунда по сравнению с кругами из белого электрокорунда.

Перспективным направлением использования высокопористых абразивных кругов, является шлифование зубчатых колес кругами диаметром до 400мм на станках «ZSTZ», «Gleason», «Reishauer» и «Orkut».

Успешно используются высокопористые абразивные круги при шлифовании зубчатых колес редукторов авиационных двигателей на станках «Gleason-Pfauter» на ПАО «Мотор-Сич» (г. Запорожье). Для шлифования используются высокопористые круги (структура 12) из электрокорунда

диаметрами до 350 мм. Круги показали высокую эффективность шлифования и полное отсутствие брака после обработки зубчатых колес.

В последнее время появились эффективные технологии изготовления высокопористого абразивного инструмента из современных монокристаллических электрокорундов. Нами проведено исследование процесса профильного шлифования зубчатых колес высокопористыми кругами из монокристаллических электрокорундов на ПАО «ХМЗ «Свет шахтера» (г. Харьков) на зубошлифовальном станке с ЧПУ модели HÖFLER RAPID 1250.

Результаты испытаний шлифовальных кругов из монокристаллического и золь-гелевого корунда показали их высокую эффективность по сравнению с кругами из белого электрокорунда. Эти круги обеспечивают уменьшение мощности шлифования и лучшие показатели по точности обработки [6].

Нами проведены испытания тарельчатых кругов из кубического нитрида бора при шлифовании высокоточных зубчатых колес [7]. 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, зернистостью 125/100 на керамической связке. Анализ результатов испытаний показал, что при шлифовании тарельчатыми кругами из КНБ на специальном станке получены зубчатые колеса, полностью удовлетворяющие требованиям заказчика по точности и качеству обработки. Производительность шлифования возрастает в 1,5–2 раза по сравнению с принятой на предприятии. Шероховатость поверхности зубчатого колеса Ra 0,63, превосходит требуемую заказчиком шероховатость (Ra 0,7–0,75).

Выводы

Важнейшим принципом при разработке новых алмазно-абразивных инструментов для зубошлифования принадлежит выбору надлежащих абразивных материалов и связки, а так же созданию нужной структуры шлифовального круга. Применяя особые рецептуры и специальные технологические методы производства кругов, мы создаем инструменты с особыми характеристиками, необходимыми для выполнения операций зубошлифования для различных отраслей машиностроения.

Список использованных источников: 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 / В.А. Бенкин. – М.: НИИМаш, 1989. – 40 с. 3. Сильвестров Б.Н. Зубошлифовальные работы / Б.Н. Сильвестров. – М.: Высш. школа, 1985. – 272 с. 4. Гулида Э.Н. Технология отделочных операций зубообработки цилиндрических колес / Э.Н. Гулида. – Львов: Изд. об-ние "Вища школа", 1977. – 168 с. 5. Рябченко С.В., Серeda Г.В. Абразивные круги для шлифования зубчатых колес – «Оборудование и инструмент для профессионалов»: Международный информационно-

технический журнал. – Харьков: ИИД «ЦентрИнформ», 2011, № 4(138), – 80 с. **6.** Ларшин В.П., Лиценко Н.В., Рябченко С.В., Нежебовский В.В., Серeda Г.В. Профильное шлифование зубчатых колес высокопористыми абразивными кругами – «Оборудование и инструмент для профессионалов»: Международный информационно-технический журнал. – Харьков: ИИД «ЦентрИнформ», 2016, № 5(190), – 72 с. **7.** Рябченко С.В. Шлифование зубчатых колес тарельчатыми кругами из СТМ / С.В. Рябченко // Сверхтвердые материалы. – 2014. – № 6. – С. 81–89.

Bibliography (transliterated): **1.** Abrazivnaja i almaznaja obrabotka materialov: spravocnik / pod red. A.N. Reznikova. – M.: Mashinostroenie, 1977. – 391 s. **2.** Benkin V.A. Progressivnye metody finishnoj obrabotki cilindricheskix zubchatykh koles: obzor / V.A. Benkin. – M.: NIIMash, 1989. – 40 s. **3.** Sil'vestrov B.N. Zubshlifoval'nye raboty / B.N. Sil'vestrov. – M.: Vyssh. shkola, 1985. – 272 s. **4.** Gulida Je.N. Tehnologija otdelochnykh operacij zuboobrabotki cilindricheskix koles / Je.N. Gulida. – L'vov: Izd. ob-nie "Vishha shkola", 1977. – 168 s. **5.** Rjabchenko S.V., Sereda G.V. Abrazivnye krugi dlja shlifovanija zubchatykh koles – «Oborudovanie i instrument dlja professionalov»: Mezhdunarodnyj informacionno-tehnicheskij zhurnal. – Har'kov: IID «CentrInform», 2011, № 4(138), – 80 s. **6.** Larshin V.P., Lishhenko N.V., Rjabchenko S.V., Nezebovskij V.V., Sereda G.V. Profil'noe shlifovanie zubchatykh koles vysokoporistymi abrazivnymi krugami – «Oborudovanie i instrument dlja professionalov»: Mezhdunarodnyj informacionno-tehnicheskij zhurnal. – Har'kov: IID «CentrInform», 2016, № 5(190), – 72 s. **7.** Rjabchenko S.V. Shlifovanie zubchatykh koles tarel'chatymi krugami iz STM / S.V. Rjabchenko // Sverhtverdye materialy. – 2014. – № 6. – S. 81-89.