

*Работа выполнена благодаря финансовой поддержке в рамках подпрограммы «Материалы в технике», задание № 4.1.08.*

### **Литература**

1. Стент: пат. 2089131 РФ, А61F2/06, А61F2/01 / С.А. Пульнев, А.В. Карев, С.В. Щукин; № 93058166/14; заявл. 28.12.93; опубл. 10.09.1997.
2. Рубаник, В.В. Технология обработки никелида титана для получения колоректальных стентов / В.В. Рубаник, В.В. Рубаник мл., С.А. Легкоступов, В.Л. Денисенко // Инновационные технологии, автоматизация и механотроника в машино- и приборостроении: матер. III МНПК. Мн. 2015. Изд. Бизнесофсет. – С.132 – 133.
3. Кардаш, И.Е. Химия и применение поли-п-ксилиленов / И.Е. Кардаш, А.В. Пибалк, А.В. Праведников // В кн.: Итоги науки и техники. Химия и технология высокомолекулярных соединений. – М.: ВИНТИ, 1984. – Т. 19.

### **УДК 621.923**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПРИ ШЛИФОВАНИИ КРУГАМИ ИЗ КНБ**

**С.В. Рябченко**

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля, Киев, Украина

*Рассматриваются вопросы повышения качества шлифования высокоточных зубчатых колес 3–4 степени точности, основанной на использовании инструмента из КНБ.*

Шлифование прецизионных и высокоточных зубчатых колес производится по методу обката на зубошлифовальных станках, работающих двумя абразивными кругами. Зубошлифование двумя тарельчатыми кругами позволяет получать зубчатые колеса 4–5-й степени точности с шероховатостью поверхности  $Ra = 1,0–0,3$  мкм [1]. Одним из путей повышения качества обработки зубчатых колес является применение для зубошлифования кругов из кубического нитрида бора (КНБ) [2].

Целью нашей работы было исследование качества обработки зубчатых колес после шлифования тарельчатыми кругами из КНБ.

Шлифование зубчатых колес осуществляли на специальном стенде, созданном на базе зубошлифовального станка модели 5891 [3]. Скорость шлифовального круга –  $v_k = 27$  м/с, глубина шлифования –  $t = 0,01–0,1$  мм, время обката на одном зубе –  $\tau = 3–12$  с.

Шлифование осуществляли кругами типа 12A2 - 20° 225x3x3x40 КР 125/100 на органической (В2-08), керамической (С10) и металлической (М2-09) связках. Шлифовали зубчатые колеса из стали ХВГ (60 HRC) модуль  $m = 6$  мм, число зубьев  $z = 21$  зуб, ширина венца  $B = 20$  мм. Результаты исследований качества зубчатых колес после шлифования кругами из КНБ сравнивались с результатами шлифования кругами из электрокорунда

белого и хромистого, наиболее часто применяемых при шлифовании зубчатых колес.

Шероховатость поверхности по  $Ra$  определяли профилографом «Суртроник-3Р» вдоль эвольвенты зуба в 3-х точках. Шероховатость поверхности определялась с погрешностью 0,01 мкм. Результаты замеров шероховатости приведены в табл.

Результаты показали, что шероховатость эвольвентной поверхности при шлифовании кругами из КНБ на органической связке В2-08 при черновых режимах обработки достигает  $Ra$  1,50–1,70. При финишном шлифовании кругами из КНБ на органической связке В2-08 шероховатость эвольвентной поверхности составляет значения  $Ra$  1,00–1,10. Такое значение шероховатости при шлифовании кругами из КНБ объясняется присутствием агрегированных зерен КНБ с покрытием стеклом размером до 0,5–1 мм.

Таблица

Шероховатость  $Ra$  (мкм) зубчатых колес после шлифования

Шлифовальный круг	Время $\tau$ , с	Глубина шлифования $t$ , мм			
		0,01	0,03	0,05	0,1
Круг из КНБ со стеклопокрытием, связка В2-08	3	1,00	1,30	1,50	
	5	1,00	1,50	1,80	
	8	1,10	1,40	1,40	1,70
Круг из КНБ с металлопокрытием, связка В2-08	3	0,65	0,70	0,90	
	5	0,60	0,60	0,90	
	8	0,50	0,55	0,90	0,90
Круг из КНБ, связка С10	3	0,70	0,80	0,95	
	5	0,65	0,80	0,96	
	8	0,60	0,75	0,90	1,10
Круг из КНБ, связка М2-09	3	0,70	0,85	1,10	
	5	0,68	0,80	1,00	
	8	0,65	0,80	0,90	1,20
Круг из электрокорунда белого	3	0,60	0,70	0,90	
	5	0,60	0,80	0,90	
	8	0,60	0,70	0,80	0,90
Круг из электрокорунда хромистого	3	0,62	0,75	0,93	
	5	0,62	0,80	0,90	
	8	0,60	0,75	0,85	0,95

Шлифование кругами из КНБ на керамической связке С10 снижает шероховатость эвольвентной поверхности зубчатого колеса до 30 % и достигает значений  $Ra$  0,60–0,70 на финишных режимах.

Аналогичное снижение шероховатости наблюдается при шлифовании кругами из КНБ на металлической связке, которое составляет на финишных режимах  $Ra$  0,65–0,75. Имея одинаковую зернистость 125/100,

шлифовальные круги из КНБ на керамической связке обеспечивают меньшую шероховатость, чем круги на металлической связке.

Это объясняется большей твердостью металлической связки, и в результате шероховатость шлифованной эвольвентной поверхности зубчатого колеса несколько выше. Применение кругов из КНБ той же зернистости (125/100) на органической связке В2-08 позволяет значительно снизить шероховатость обработанной поверхности и получить результат равный  $Ra$  0,50–0,65. Эти результаты подтверждаются замерами шероховатости после шлифования кругами из КНБ на органической связке с металлическим покрытием зерен, где не образуются агрегированные зерна большого размера.

На всех исследуемых режимах обработки характерно увеличение шероховатости поверхности при уменьшении времени обката зубчатого колеса. Заметна более высокая разница в шероховатости после шлифования кругами из электрокорунда и КНБ, которая составляет до 20%. Применение хромистого электрокорунда повышает шероховатость эвольвентного профиля зубчатого колеса до 10 % по сравнению с кругом из электрокорунда белого. Это объясняется более высокой твердостью порошка хромистого электрокорунда. Глубина резания на всех исследуемых диапазонах не оказывала существенного влияния на шероховатость поверхности. Хотя тенденция к возрастанию шероховатости поверхности при повышении глубины резания наблюдалась, причем для кругов из электрокорунда более заметно.

Металлографические и рентгеноструктурные исследования поверхностного слоя зубчатых колес показали, что шлифование кругами из КНБ с охлаждением при  $t = 0,01$  мм приводит к формированию поверхностного слоя зубьев с микроструктурой, не отличающейся от структуры глубинных слоев металла. При послойном рентгеноструктурном анализе в железном и медном излучении градиент концентрации остаточного аустенита в поверхностном слое отсутствует, практически одинакова и ширина рентгеновских линий. При глубине шлифования  $t = 0,03$  мм (в железном излучении) наблюдается рост количества остаточного аустенита, а при  $t = 0,05$  мм (в медном излучении) наблюдается тонкий слой металла, обогащенного аустенитом. Дальнейшее повышение глубины резания до 0,1 мм приводит к образованию слоя вторичной закалки.

#### **Выводы:**

1. На всех исследуемых режимах обработки характерно увеличение шероховатости поверхности при уменьшении времени обката зубчатого колеса. Шероховатость обработанной поверхности после шлифования кругами из электрокорунда на 20% ниже по сравнению со шлифованием кругами из КНБ.

2. Установлено, что при финишном шлифовании ( $t = 0,01$  мм) кругами из КНБ с охлаждением формируется поверхностный слой зубьев с

микроструктурой, не отличающейся от структуры глубинных слоев металла, а черновое шлифование глубиной резания более  $t = 0,05$  мм нецелесообразно, ввиду образования дефектного слоя (около 200 мкм) не удаляемого на последующих финишных операциях обработки.

### Литература

1. Гулида, Э.Н. Технология отделочных операций зубообработки цилиндрических колес / Э.Н. Гулида. – Львов: Издательское объединение "Вища школа", 1977. – 168 с.
2. Высокопроизводительное зубошлифование кругами из кубического нитрида бора / Л.Л. Мишнаевский [и др.] // Синтетические алмазы. – 1970. – №5. – С. 40 – 42.
3. Рябченко, С.В. Шлифование зубчатых колес тарельчатыми кругами из СТМ / С.В. Рябченко // Сверхтвердые материалы. – 2014. – № 6. – С. 81 – 89.

**УДК 621.785.54**

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКИ В РЕЖИМЕ ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИЯ**

**М.В. Семенченко**

Полоцкий государственный университет, Новополоцк

*Приводятся технологические особенности термоциклической обработки проволочного материала путем электроконтактного нагрева. Отмечаются основные факторы, оказывающие влияние на выбор режимов обработки.*

Термическая обработка – один из распространенных способов обеспечения требуемого комплекса свойств металлов и сплавов. Ее широко используют на предприятиях промышленного комплекса Республики Беларусь для повышения ресурса деталей различного назначения, а также как предварительную обработку перед последующим пластическим деформированием или диффузионным насыщением. При этом наибольшее распространение получила термическая обработка, производимая в условиях печного нагрева в изотермических условиях. Однако в последнее время все больший интерес стали вызывать способы, во время которых температура процесса изменяется по определенному закону. Последовательный нагрев и охлаждение обрабатываемого материала позволяют добиться уникальных свойств, которые часто не достижимы иным способом обработки. Во время термоциклирования накапливаются необходимые структурные изменения, позволяющие значительно улучшить качество обрабатываемых изделий или придать им свойства, которые невозможно было обеспечить путем однократного нагрева.