

## Шлифование зубчатых колес тарельчатыми кругами из СТМ

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

Обсуждаются проблемы повышения эффективности шлифования зубчатых колес высокой точности 3-4 степенью точности с помощью инструментов сверхтвердого материала. Было изучено эффективность кубического нитрида бора блюдо шлифовальных кругов в различных связях. Даны рекомендации по использованию кубического нитрида бора колеса в зубошлифовальных.

**Ключевые слова:** тарельчатые круги, зубошлифование, механизм электроэрозионной правки.

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. Шлифовальные круги могут занимать различные положения относительно обрабатываемого колеса: параллельно между собой и под различными углами, как правило, 0, 15 или 20° (рис. 1). Зубошлифование двумя тарельчатыми кругами позволяет получать зубчатые колеса 4–5-й степени точности с шероховатостью поверхности  $Ra\ 1,0...0,3$  [1].

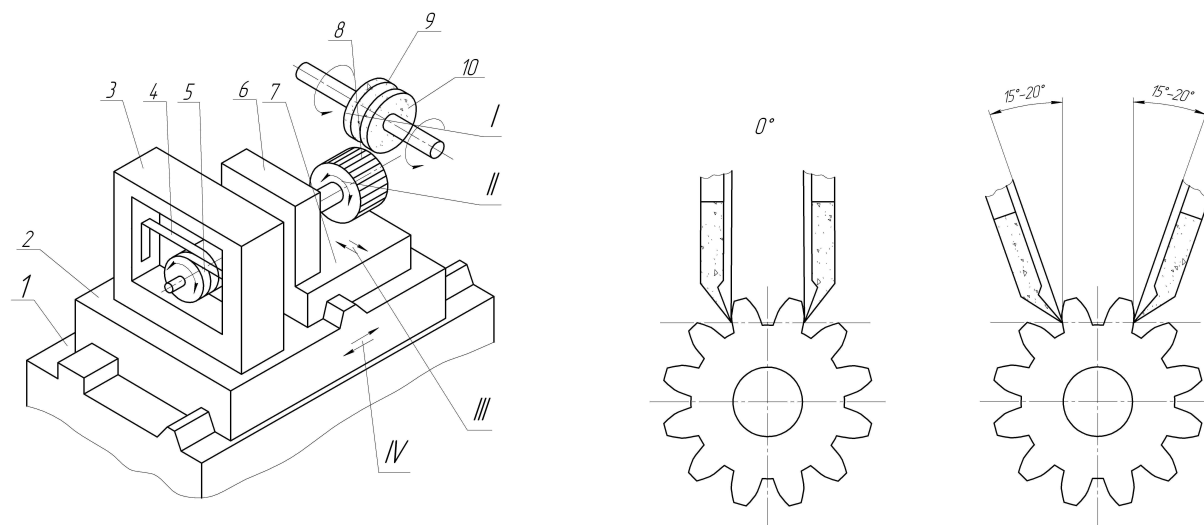


Рис. 1. Метод зубошлифования зубчатых колес непрерывной обкаткой двумя тарельчатыми кругами

Существенными недостатками шлифования тарельчатыми кругами является низкая производительность и высокая стоимость технологической оснастки. Повышение производительности зубошлифования при сохранении достаточно высокой точности – основной путь совершенствования этого метода. В связи с этим были созданы круги для зубошлифования из сверхтвердых материалов [2].

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

Исследование поведом 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 –  $t = 0,01 \dots 0,1$  мм.

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 такими 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 –  $l$ .

Для исследования износа круга при зубошлифовании первоначально устанавливалась площадь контакта круга с эвольвентным профилем зубчатого колеса. Экспериментально определение площади контакта предусматривало введение инструмента в зацепление с колесом и измерение полученного следа. Во всех известных случаях контурная площадь представлялась как сегмент с максимальной толщиной в центре, размеры которого значительно превосходят реальную площадь контакта. Это обусловлено тем, что не учитывалось наличие переходного участка (зоны резания) и обработанной ранее поверхности (рис. 2, 3).

Для того чтобы учесть эти особенности процесса формообразования, зубчатое колесо предварительно обрабатывалось на часть ширины его зубчатого венца, соответствующей исследуемой фазе зацепления инструмента с колесом, затем инструмент выводился из зацепления и смещался в направлении рабочей подачи на величину пути обката. Шлифовальный круг оставлял след на обрабатываемом зубчатом колесе и в дальнейшем происходил замер величины контурной площади.

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 заметен при уменьшении времени обката. Шлифование зубчатых колес кругами из КНБ на керамической связке обеспечивало высокую точность ( $f_{fr} = 4 \dots 5$  мкм) эвольвентного профиля зуба по сравнению с исходным профилем ( $f_{fr} = 8 \dots 14$  мкм).

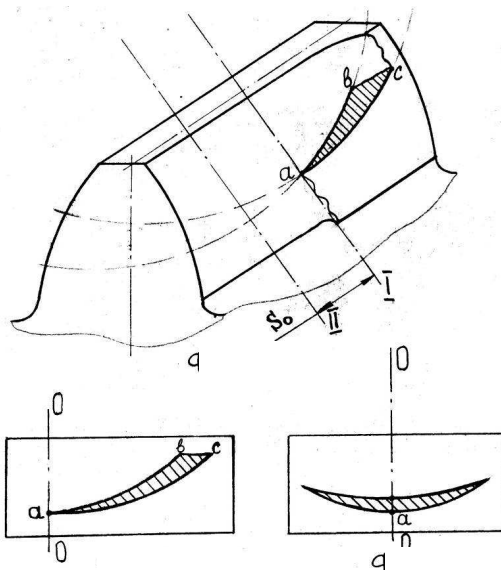


Рис. 2. Площадь контакта шлифовального круга и зубчатого колеса

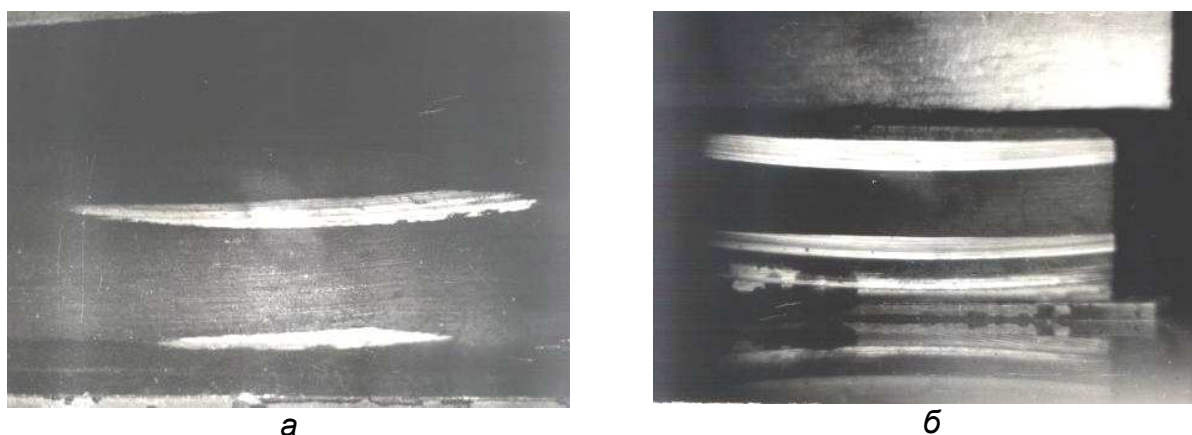


Рис. 3. Фотографии площадей контакта: а – шлифование на станке МААГ, б – шлифование на станке 5891

Исследование работоспособности тарельчатых кругов из КНБ на металлической связке (12А2-20°225 х3х3х40–КР 125/100–М2-09–100) выполняли 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 ( $t = 3\text{ с}$ ). Глубина резания на шероховатость не оказывала существенного влияния.

Шлифование зубчатых колес кругами из КНБ на металлической связке обеспечивает высокую точность эвольвентного профиля зуба ( $f = 5...6\ \mu\text{м}$ ) по сравнению с исходным профилем ( $f = 11...12\ \mu\text{м}$ ). Для получения высокой точности эвольвентного профиля необходимо проведение двух-трех чистовых проходов с последующим выхаживанием. Шлифование зубчатых колес кругами из

КНБ на металлических связках обеспечивает разность соседних шагов зубчатого колеса 2...4 мкм, что является показателем высокой точности обработки.

Зависимость погрешности эвольвенты от числа обработанных зубьев за 16 проходов шлифования показана на рис. 4, изменение мощности шлифования – на рис. 5.

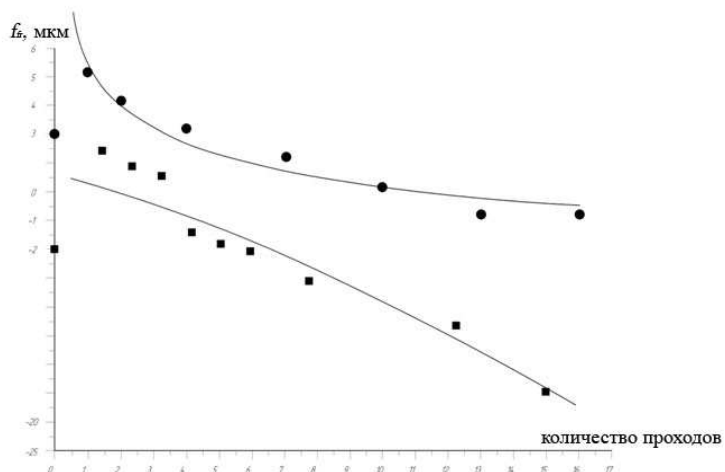


Рис. 4. Зависимость погрешности профиля  $f_{fr}$  от количества проходов (а – при  $t = 0,05$  мм, б – при  $t = 0,02$  мм)

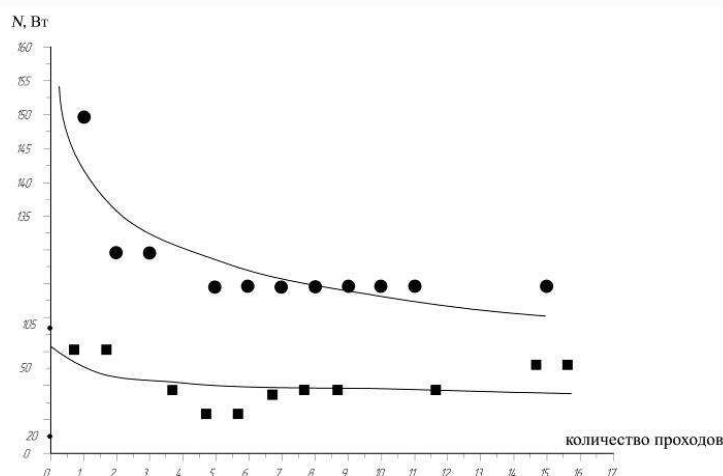


Рис. 5. Зависимость мощности шлифования N от количества проходов (а – при  $t = 0,05$  мм, б – при  $t = 0,02$  мм)

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. 6, 7). 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.

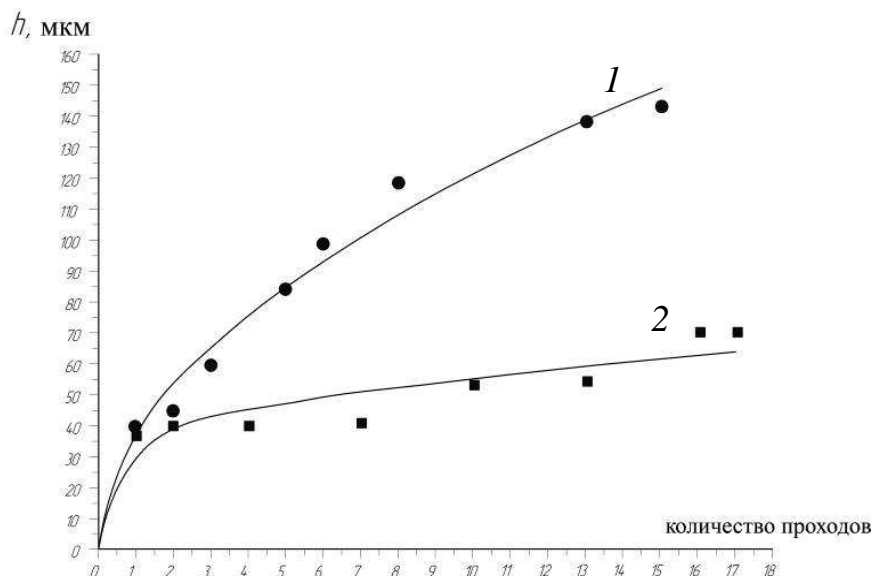


Рис. 6. Зависимость износа круга по торцу  $h$  от количества проходов (1 – при  $t = 0,05$  мм, 2 – при  $t = 0,02$  мм)

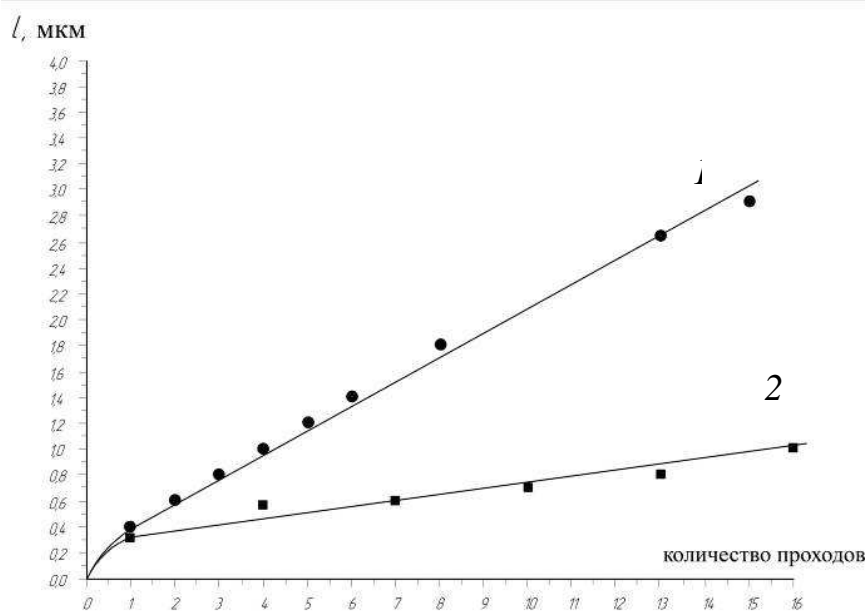


Рис. 7. Зависимость износа круга по диаметру  $l$  от количества проходов (1 – при  $t = 0,05$  мм, 2 – при  $t = 0,02$  мм)

Анализ проведенных экспериментов показал, что лимитирующим параметром точности обработки зубчатого колеса является размерный износ тарельчатого круга, который практически пропорционален количеству обработанных зубьев 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  $0,61 \dots 0,50$ . 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.

Проведенные предварительные исследования моделирования процесса зубошлифования на станке мод. 5891 показали высокую эффективность обработки зубчатых колес тарельчатыми кругами из сверхтвердых 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. 8) был спроектирован и изготовлен на базе серийного зубошлифовального станка мод. 5А851, предназначенного для работы двумя тарельчатыми кругами.

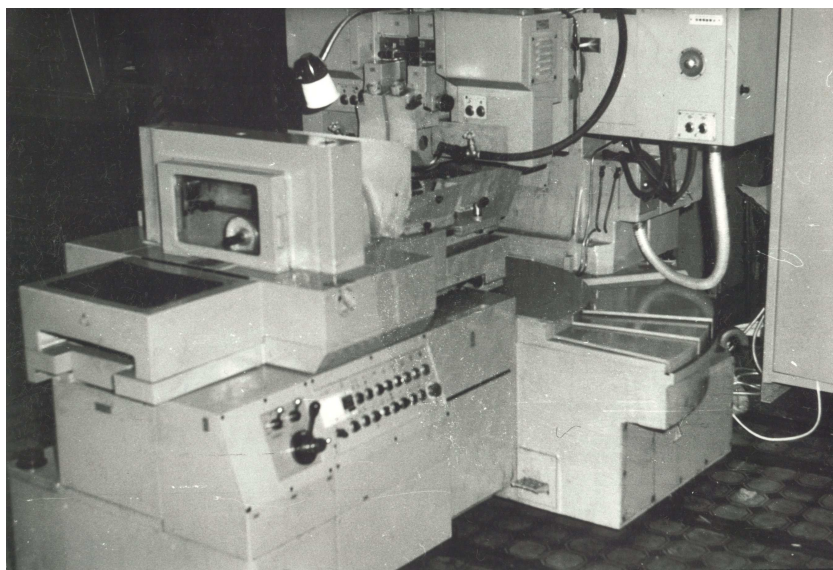


Рис. 8. Общий вид специального зубошлифовального станка

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 и 275 мм (рис. 9). 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.

Алмазоносный слой круга выполнен под углом  $5^\circ$ , что позволяет предотвратить "затирание" эвольвентной поверхности зуба при шлифовании зубчатого колеса. Размер ( $5 \times 2$  мм) алмазоносного слоя позволяет полноценнее использовать шлифовальный круг при проведении правки.



Рис. 9. Специальные тарельчатые шлифовальные круги из СТМ

Для отработки технологического процесса шлифования зубчатых колес была проведена опытная обработка. Обрабатывались 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 проводили на специальном зубошлифовальном станке с охлаждением маслом "Индустриальное-12".

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

В результате измерения зубчатых колес после шлифования на измерительной машине MAAG P-130 получены такие результаты: после первого цикла шлифовки точность по направлению зуба  $F_b = 8 \dots 11$  мкм и профиль эвольвенты  $f_f = 3$  мкм с левой и правой сторон зубов, взятых через  $90^\circ$ , после второго цикла шлифовки аналогично точность по направлению зуба  $F_b = 3 \dots 4$  мкм и профиль эвольвенты  $f_f = 2 \dots 3$  мкм слева и справа.

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 литературы

1. Гулида, Э.Н. Технология отделочных операций зубообработки цилиндрических колес [Текст] / Э.Н. Гулида. – Л.: Изд. объедин. "Вища шк.", 1977. – 168 с.
2. Мишнаевский, Л.Л. Износ шлифовальных кругов [Текст] / Л.Л. Мишнаевский. – К.: Наук. думка, 1982. – 192 с.

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

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.И.Долматов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

Поступила в редакцию 19.09.2013

### **Шліфування зубчастих коліс тарілочастими колами з СТМ**

Обговорюються проблеми підвищення ефективності шліфування зубчастих коліс високої точності 3-4 ступенем точності за допомогою інструментів надтвердого матеріалу. Було вивчено ефективність кубічного нітриду бору блюдо шліфувальних кругів в різних зв'язків. Надано рекомендації щодо використання кубічного нітриду бору колеса в зубошліфувальних.

**Ключові слова:** тарілочасті круги, зубошліфування, механізм електроерозійної правки.

### **Shlyfovanye zubchatykh wheels tarelchatymy circles of STM**

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.

**Keywords:** tarelchatye circles, zuboshlyfovanye, elektroerozyonnoy mechanism changes.