

А. А. Клочко, А. Н. Шелковой, В. Ф. Шаповалов, А. В. Беловол, О. А. Анцыферова

## ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗАКАЛЕННЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС МЕТОДОМ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ

**Предметом** исследования в статье являются актуальные вопросы, связанные с разработкой технологии ремонта и восстановления крупногабаритных зубчатых колес приводов шагающих экскаваторов, рудоразмольных мельниц, шаровых мельниц. **Цель** – разработка новой технологии ремонта и восстановления крупногабаритных зубчатых колес модулем ( $m=12-65$  мм). **Задачей** является получение гарантированного качества восстановления зубчатых венцов после ремонта при высокопроизводительной обработке крупногабаритных колес, работающих в агрессивной абразивной среде. Предложен метод прерывистого обката с использованием дисковых немодульных фрез (размеры фрезы не зависят от модуля обрабатываемых зубьев), оснащенных керамическими пластинками и специальными фрезерными суппортами. Метод прерывистого обката используется на зубострогальных и зубошлифовальных станках и обладает тем преимуществом, что в момент рабочего хода инструмента заготовка либо неподвижна, либо совершает незначительный поворот, т.е. обработка протекает по сравнению с методом обкатки, в более жестких условиях. **Результаты** внедрения. Для реализации новой высокоскоростной технологии зубообработки были приняты два направления. Первое заключалось в разработке несложных по конструкции специальных фрезерных суппортов, устанавливаемых на зубострогальных станках фирмы "MAAG" (Швейцария). Второе учитывало крайне малое число заводов, имеющих станки фирмы "MAAG", и потому предусматривало разработку, изготовление и внедрение на заводах специальных фрезерных суппортов к широко распространенным вертикально-зубофрезерным станкам. Внедрение новой технологии ремонта и восстановления зубчатых колес при чистовой обработке закаленных колес с использованием зубострогального станка производилось в производственных условиях при обработке колес псевдопланетарного редуктора со следующими характеристиками:  $m = 28$  мм;  $z_1 = 1$ ;  $z_2 = 24$ ;  $z_3 = 32$ ;  $b = 400$ ;  $\beta_0 = 0^\circ$ ; сталь 34ХМЮА; HRC 48...54. По сравнению с процессом зубошлифования, при котором в поверхностном слое детали создаются растягивающие напряжения, лезвийная обработка наиболее благоприятна. Сжимающие напряжения повышают износостойкость деталей, контрактную и изгибную прочность зубчатых передач. **Выводы.** Промышленное внедрение новой технологии лезвийной зубообработки ремонтных и восстановленных крупногабаритных зубчатых колес позволяет в 3–4 раза снизить трудоемкость чистовой операции, а также исключает необходимость приобретения по импорту дорогостоящих и малопроизводительных зубошлифовальных станков. При этом качество поверхности зубьев выше, чем в случае зубошлифования, т.к. исключаются такие дефекты, как прижоги, микротрещины.

**Ключевые слова:** технологии ремонта и восстановления, крупногабаритные зубчатые колеса, метод прерывистого обката, дисковые немодульные фрезы, высокоскоростная технология, специальные фрезерные суппорта.

### Введение

Разработка технологии ремонта и восстановления крупногабаритных зубчатых колес приводов шагающих экскаваторов, рудоразмольных мельниц, шаровых мельниц для помола угля является актуальным направлением из-за относительно малого срока службы колес, работающих в агрессивной абразивной среде, и, при этом, высокой себестоимостью и трудоемкостью их изготовления. Теоретически при таком значительном числе зубьев (200...400), модулем от 12 до 65 мм изношенные зубья колес можно восстановить с помощью угловой коррекции, но с изготовлением новой ведущей шестерни при постоянном межцентровом расстоянии.

### Анализ литературных данных и постановка проблемы

При реверсивной работе крупногабаритного зубчатого колеса зуб изнашивается по левому и правому профилю, смещение инструмента при восстановлении для модуля  $m = 28$  мм может составлять  $h = 30$  мм, что недопустимо уменьшит сечение и прочность основания зуба и наружный диаметр зубчатого венца. Ремонт и восстановление зубьев наплавкой под слоем флюса увеличивает время наплавки из-за малой длины наплавляемых валиков и

необходимости после нанесения каждого валика тщательно выполнять зачистку впадины зубьев от шлака [1]. И при современных инновационных технологиях ремонта и восстановления зубьев колес, наплавку ведет с подложкой в 2–4 слоя, в зависимости от материала зубчатого колеса и требуемых параметров твердости поверхностного слоя зубьев колес.

Применение технологии электрошлаковой наплавки зубьев с использованием плавящегося мундштука для крупногабаритных колес вызывает деформации зубьев [1]. При наплавке изношенных зубьев в среде углекислого газа с последующей механической обработкой венцовых колес, изготавливаемых из литой среднеуглеродистой стали с содержанием углерода (0,4...0,5) % из-за быстрого термического нагрева и охлаждения возможно появление закалочных структур с высокой твердостью и низкой пластичностью. При наложении последующих валиков температура нагрева этой зоны не выше критической, поэтому перекристаллизации не происходит, а эффект отпуска проявляется слабо. Исследование микроструктуры и микротвердости в процессе экспериментального подбора режима наплавки подтверждает возможное появление участков толщиной до  $0,3 \times 5$  мм с твердостью выше HRC 48-63. Режим наплавки первого валика и время наложения следующего слоя подбирают так, чтобы

появление закалочных структур максимально исключить. Обеспечить такие условия можно, если перед наложением второго валика температура участка зоны термического влияния рядом с линией сплавления не будет ниже температуры начала мартенситного превращения. Нагрев последующими валиками обеспечит распад аустенита с образованием феррито-перлитной структуры. Наплавку рекомендуется производить полуавтоматом А537 с источником питания ВДУ505. Наплавочная проволока Св 08Г2С диаметром 1,6 мм. Режим наплавки: напряжение 26 В; сварочный ток (250-300) А; скорость наплавки около 230 м/ч. После наплавки зубья предварительно зачищали для подготовки к предварительной и окончательной обработке на зубофрезерных станках повышенной надежности с применением специальных технологий и лезвийного инструмента [1] с формированием впадины зуба по высоте.

### Цель и задачи исследования

В связи с тем, что тяжелые зубофрезерные станки по жесткости и быстроходности не предназначены для работы методом обкатки твердосплавными червячными фрезами, а также из-за сравнительно невысокой стойкости используемых отечественных твердых сплавов, производственный опыт ряда заводов показал, что точность обработки колес ( $m > 12$  мм) по нормам плавности и контакта не превышает 10–12-ой степеней точности по ГОСТ 1643-81 [2, 3, 4].

Поэтому для предварительного и окончательного прохода зубообработки колес крупного модуля ( $m = 12-65$  мм) предложен метод прерывистого обката с использованием дисковых немодульных фрез (размеры фрезы не зависят от модуля обрабатываемых зубьев), оснащенных керамическими пластинками и специальными фрезерными суппорта [1]

Метод прерывистого обката используется на зубострогальных и зубошлифовальных станках и обладает тем преимуществом, что в момент рабочего хода инструмента заготовка либо неподвижна, либо совершает незначительный поворот, т.е. обработка протекает по сравнению с методом обкатки, в более жестких условиях.

Кроме того, при этом методе частота вращения инструмента не связана кинематически с частотой вращения заготовки, что позволяет использовать в качестве режущих материалов керамику и сверхтвердые материалы, т.е. увеличить скорость резания в 3–4 раза (до 5–8 м/сек) и обеспечить повышение производительности обработки при высоком качестве обработанной поверхности зубьев. Обработка проходит при увеличенном по сравнению с червячной фрезой, количестве резцов, профилирующих эвольвентную поверхность зубьев, что формирует высокую их точность и низкую шероховатость.

### Материалы и методы исследований

Для реализации новой высокоскоростной технологии зубообработки были приняты два направления. Первое заключалось в разработке несложных по конструкции специальных фрезерных суппортов, устанавливаемых на зубострогальных станках фирмы "MAAG" (Швейцария). Второе учитывало крайне малое число заводов, имеющих станки фирмы "MAAG", и потому предусматривало совместно с ОАО "КЗТС" (г. Коломна) разработку, изготовление и внедрение на заводах отряси специальных фрезерных суппортов к широко распространенным вертикально-зубофрезерным станкам [2, 5, 6, 8].

Для обоих направлений была выбрана наиболее простая по реализации схема резания, представленная на рис. 1.

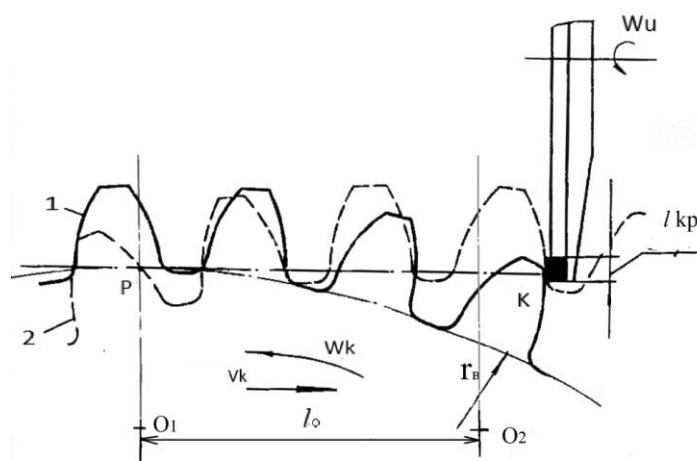


Рис. 1. Схема резания для специальных суппортов:

1 – начальное положение колеса; 2 – конечное положение колеса после обработки одного профиля

Согласно схеме, в качестве станочной линии зацепления пары инструмент-деталь используется нормаль к эвольвентам РК, расположенная горизонтально. Профильный угол зубьев инструмента

– дисковой фрезы, близок к  $\alpha_u = 0^\circ$ . Фреза в первоначальный момент обработки расположена со

смещением относительно оси колеса на расстоянии  $l_0$ , определяемом по зависимости

$$l_0 = r_b \cdot X \operatorname{tg} \alpha_a \quad (1)$$

где  $r_b$  – радиус основной окружности зубьев колеса;

$\alpha_a$  – угол профиля эвольвенты на вершине зуба.

Обработка правой и левой боковых поверхностей зубьев колеса осуществляется отдельно, обработка ведется за два подхода.

Выбранная схема позволяет оснастить дисковые фрезы 4-х-гранными керамическими пластинками с размерами 12,7×12,7 мм или элементами из сверхтвердых материалов. Инструмент при этом не требует заточки, удобен в эксплуатации и ремонте. Так как обработка эвольвентных поверхностей зубьев производится практически одними и теми же участками пластин, то это повышает точность обработки профиля зубьев.

На рис. 2 показана рабочая конструкция специального суппорта, устанавливаемого на зубострогальных станках [7, 9, 10]. Суппорт состоит из электродвигателя 1; клиноременной передачи 2, шпинделя 3, дисковой фрезы 4, опорной плиты 5. Фрезерный суппорт устанавливается на ползуне станка взамен суппорта, несущего зубострогальную гребенку. В зависимости от того, какую сторону зубьев необходимо обработать, на суппорте устанавливают фрезу леворежущую или праворежущую.

В процессе обработки дисковая фреза совершает возвратно-поступательное движение вверх-вниз, аналогично движению зубострогальной гребенки.

После обработки одной боковой поверхности всех зубьев колеса на суппорте меняется, например, леворежущая фреза на праворежущую, изменяется направление вращения и ход колеса на обратные и производится обработка другой боковой поверхности зубьев.

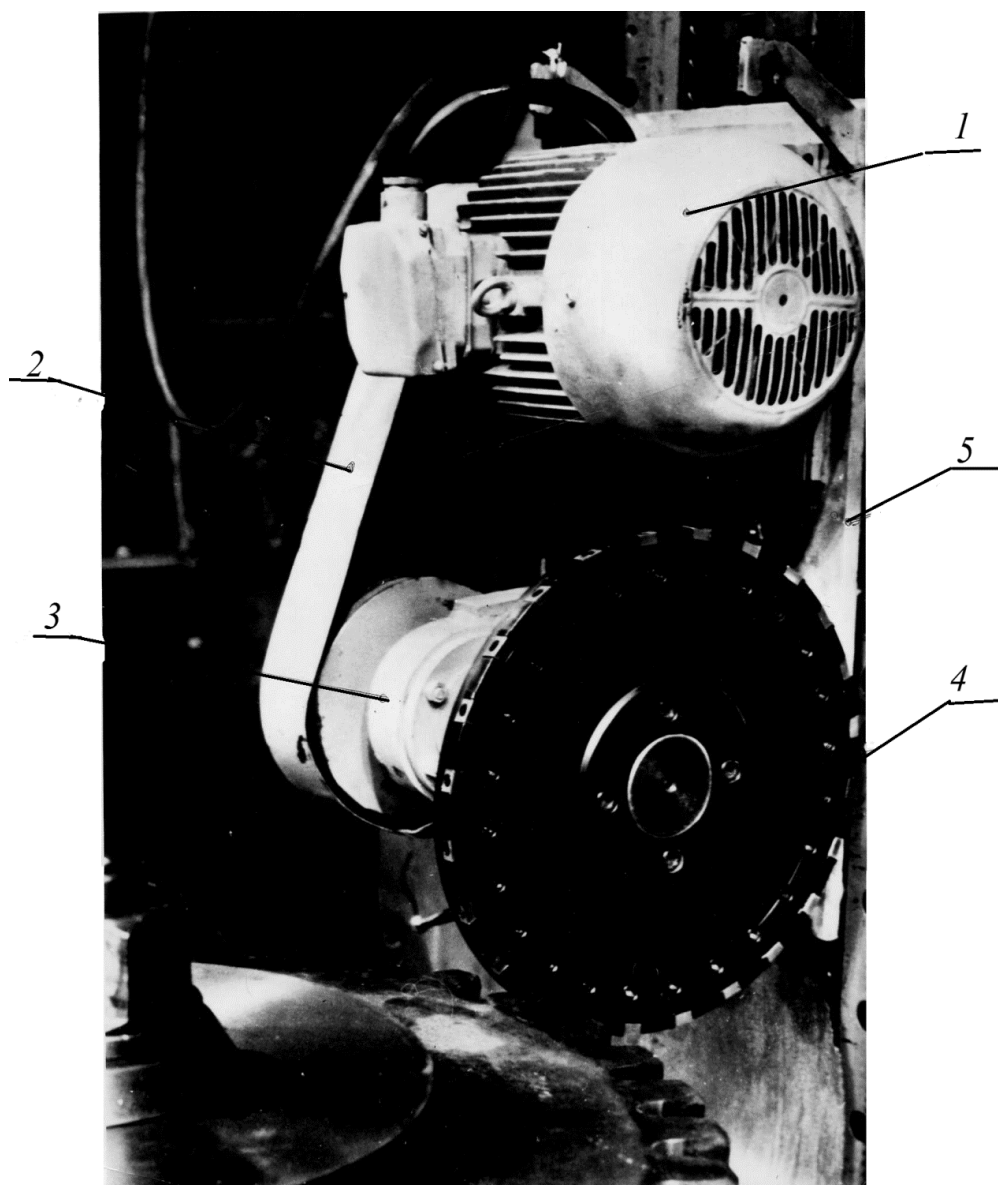


Рис. 2 – Рабочая конструкция спецсуппорта к зубострогальному станку фирмы "МАОГ":

1 – клиноременная передача; 2 – шпиндель; 3 – дисковая фреза; 4 – опорная плита; 5 – фрезерный суппорт

### Результаты исследований

Первичное внедрение новой технологии ремонта и восстановления зубчатых колес при чистовой обработке закаленных колес с использованием зубострогального станка производилось в производственных условиях при обработке колес псевдопланетарного редуктора со следующими характеристиками:  $m = 28$  мм;  $z_1 = 1$ ;  $z_2 = 24$ ;  $z_3 = 32$ ;  $b = 400$ ;  $\beta_0 = 0^\circ$ ; сталь 34ХМЮА; HRC 48...54.

Зубообработка проводилась на зубострогальном станке (рис. 2) фирмы "МАОГ" (Швейцария) модели HS-450/500.

Согласно техническим требованиям, точность колес должна была соответствовать по нормам кинематической точности, плавности и контакта – 8-й степени. Вместе с тем, в связи с высокими требованиями по изгибной и контактной прочности, шлифовка зубьев, с целью исключения прижогов и микротрещин, не допускалась.

Режимы резания при обработке колес использовались следующие.

Черновой проход: глубина резания – 0,4–0,6 мм; число двойных ходов инструмента за один цикл обработки – 80; скорость движения ползуна – 6 м/мин;

частота вращения фрезы – 250 мин-1; скорость резания – 320 м/мин.

Чистовой приход: глубина резания – 0,3 мм; число двойных ходов инструмента за цикл обработки – 80; скорость движения ползуна – 6 м/мин; частота вращения фрезы – 250 мин-1; скорость резания – 320 м/мин.

Обработка велась без применения смазывающе-охлаждающих жидкостей. Направление фрезерования встречное.

Процесс обработки протекал плавно, без вибраций инструмента, суппорта и заготовки. Машинное время обработки составило 8 часов. Максимальный износ пластин после чистового прохода не превышал 0,2–0,3 мм.

Контроль параметров точности обработки колес производился с использованием следующих приборов: универсальная измерительная машина мод. PSFU-1600 фирмы "Клингелберг" (ФРГ), накладной прибор для измерения шероховатости поверхности фирмы "Суртроник" (Англия). Результаты измерений представлены в таблице 1.

На рис. 3 показан общий вид закаленного зубчатого колеса  $m = 28$  мм,  $z_1 = 24$ , обработанного по новой технологии.

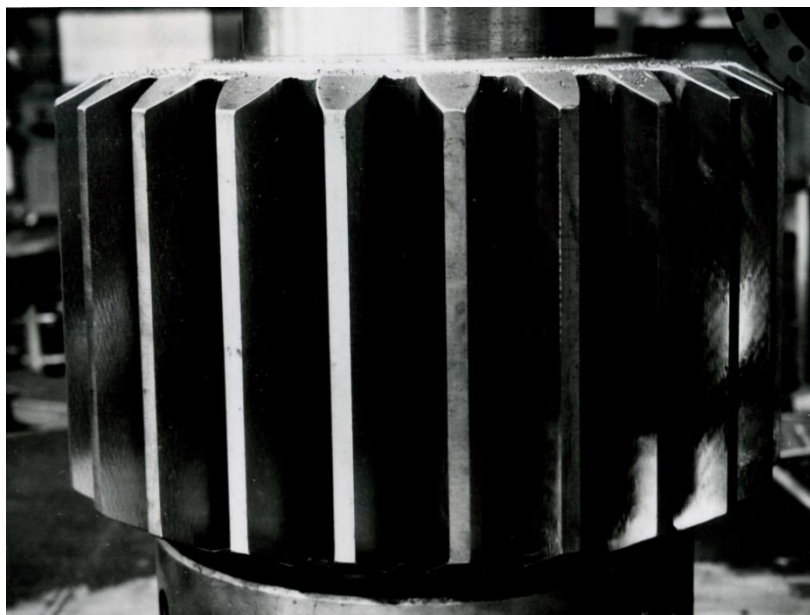


Рис. 3. Зубчатое колесо  $m = 28$  мм,  $z_1 = 24$ , обработанное по новой технологии лезвийной обработки

### Обсуждение результатов

Для исследования качества поверхностного слоя из зубьев обработанных колес были вырезаны образцы. Нетравленные образцы зубьев помещали в металлографический микроскоп "Neophot-21" (Англия). В результате визуальных наблюдений на обработанных поверхностях прижоги не были обнаружены. Микротрещины и другие дефекты обнаружены не были. Травление образцов зубьев, а также шлифов проводилось в 4 % растворе азотной кислоты в этиловом спирте.

На травленных образцах прижоги и микротрещины обнаружены не были [2, 8, 11].

Металлографические исследования образцов (шлифов) позволили сделать следующие выводы: структура образцов ферритно-перлитная.

Поверхностная микротвердость измерялась на приборе "ПМТ-3" при нагрузке 20 гс интервалом по глубине 0,02 мм.

Измерения микротвердости показали наличие наклепанного слоя глубиной 0,04 (H0,196 = 2260-2340 Н/мм<sup>2</sup>). Результаты замеров приведены в таблице 2.

**Таблица 2.** Микротвердость образцов зубьев

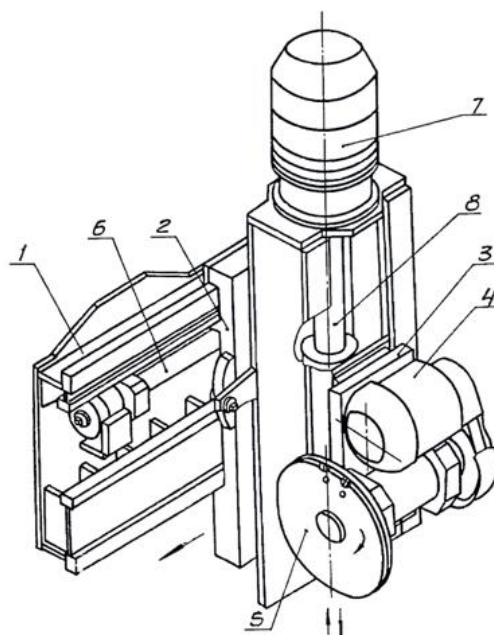
Глубина замера, мм	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14
Микротвердость, МПа	2260	2340	2040	2040	2040	1950	1950

Наличие наклепа свидетельствует о присутствии в поверхностном слое остаточных напряжений сжатия.

По сравнению с процессом зубошлифования, при котором в поверхностном слое детали создаются растягивающие напряжения, лезвийная обработка, как видим, более благоприятна. Сжимающие напряжения повышают износостойкость деталей, контрактную и изгибную прочность зубчатых передач.

Промышленное внедрение новой технологии лезвийной обработки закаленных колес после наплавки с использованием зубострогальных станков, было также проведено для венцов диаметром до 8 м.

На рис. 4 показана принципиальная конструкция специального суппорта к вертикально-зубофрезерному станку.

**Рис. 4.** Принципиальная конструкция спецсуппорта к вертикально-зубофрезерному станку

Суппорт (рис. 4) состоит из основания 1, присоединяемого к колонне станка, поперечной траверсы 2, на которой размещена инструментальная каретка 3, с индивидуальным приводом 4 и дисковой фрезой 5.

Тангенциальное перемещение  $V_m$  траверсы 2 осуществляется с помощью ходового винта 6, а возвратно-поступательные перемещения вверх-вниз  $V_{in}$  каретки 3 с инструментом осуществляется с помощью высокомоментного электродвигателя и шариковой винтовой пары (ШВП) 8 [2,3].

По техническому заданию был изготовлен специальный суппорт (рис. 5) к вертикально-зубофрезерному станку мод. 5А342П.

Техническая характеристика спецсуппорта следующая:

1. Диаметр обрабатываемых зубчатых колес, мм:  
- наибольший – 1500;  
- наименьший – 300.
2. Наибольшая ширина обрабатываемых колес, м:  
- прямозубых – 500.  
Косозубых с углом наклона  $15^\circ$  – 400.

3. Наибольший угол наклона обрабатываемых зубьев, градус –  $15^\circ$ .

4. Наибольший модуль обрабатываемых колес, мм – 30.

5. Частота вращения фрезы, об/мин – 187,5 ( $3,1 \text{сек}^{-1}$ ).

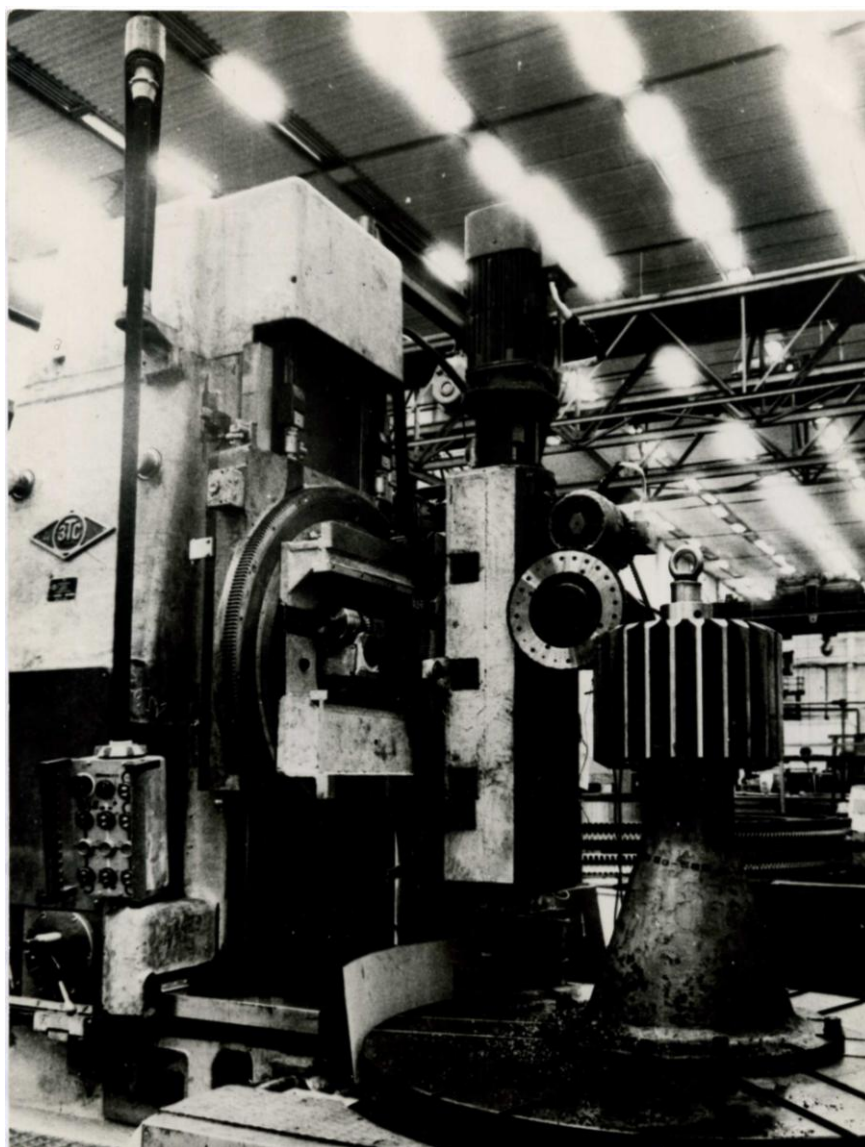
6. Наибольшая вертикальная подача фрезы, мм/мин – 15000.

7. Наибольшее количество резов при обработке эвольвенты зуба – 60.

8. Диаметр фрезы, мм – 450.

Настойка и наладка станка при работе спецсуппорта производится так же, как и при нарезании косозубых зубчатых колес методом единичного деления.

Обработка зубьев происходит при согласованных движениях вращения стола с заготовкой и тангенциального перемещения каретки с инструментом.



**Рис. 5.** Обработка закаленного колеса  $m = 20$  мм,  $z = 29$  с использованием специального суппорта для вертикально-зубофрезерного станка мод. 5A342П

Суппорт предназначался, в первую очередь, для чистовой обработки восстановленных закаленных колес и приводных шестерен рудо- и углеразмольных мельниц взамен зубошлифования и с целью исключения кооперации производства или приобретения импортного дорогостоящего зубошлифовального оборудования.

Согласно принятой схемы резания (рис. 1) для обработки правой или левой боковых поверхностей зубьев-устанавливают и закрепляют в специальном суппорте, соответственно, правую или левую фрезу.

Дисковые фрезы одностороннего и двухстороннего резания были оснащены 4-х гранными поворотными пластинами размером  $12,7 \times 12,7$  мм, из керамики марки ВОК-71.

Обрабатывались закаленные зубчатые колеса со следующей характеристикой:  $m = 20$  мм;  $z_k = 29$ ;  $b = 420$  мм;  $\beta_0 = 5^\circ 38'$ ; сталь 45; HRC 50...55.

Чистовое зубонарезание осуществлялось встречным и попутным фрезерованием на каждый двойной ход инструмента без изменения охлаждения.

Режимы резания, следующие:

- глубина резания – 0,25-0,35 мм;
- число двойных ходов инструмента за один цикл обработки – 80 дв.х.;
- скорость движения ползуна – 6 м/мин;
- частота вращения фрезы – 250 мин<sup>-1</sup>;
- скорость перемещения инструментальной каретки 8 м/мин.

Машинное время обработки колеса составило бчасов, что в 6-7 раз меньше, чем в случае применения зубошлифования. По разности соседних окружных шагов зубьев и шагу зацепления колесо соответственно 7-й степени точности по ГОСТ 1643-81. Шероховатость обработанных поверхностей зубьев находилась в пределах Ra 2,5–1,25 мкм. Установлено, что новый технологический процесс чистовой зубообработки по точности и качеству не уступает зубошлифованию, но в 6–7 раз более производителен и исключает в производственных условиях АО "СЗТМ"

приобретение по импорту тяжелых зубошлифовальных станков.

Для сокращения вспомогательного времени зубообработки за счет устранения переустановок дисковых фрез на спецсуппорте разработана дисковая фреза двухстороннего резания (рис.6), позволяющая вести обработку обеих боковых поверхностей зубьев колеса [4].

Отличительной особенностью фрезы двухстороннего резания является наличие второго ряда режущих пластин, смещенных относительно

первого ряда на половину окружного шага. В процессе обработки вначале одним рядом пластин обрабатывают одну из боковых поверхностей зубьев колеса, например, правую, а затем, после реверса колеса и направления тангенциального перемещения каретки с инструментом, обрабатывают вторую – левую боковую поверхность.

Такая конструкция дисковой фрезы позволяет сократить номенклатуру зуборезного инструмента и экономить вспомогательное время на переустановку инструмента [9, 11].

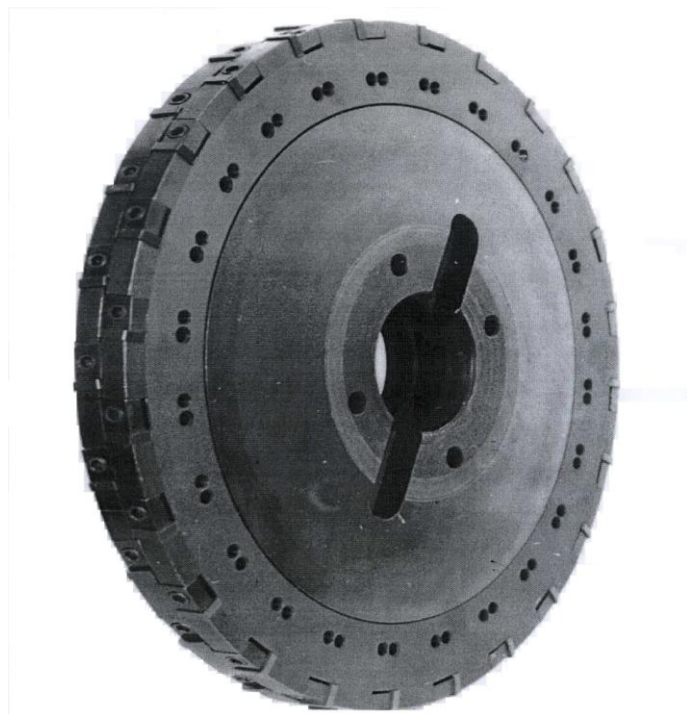


Рис. 6. Дисковая фреза двухстороннего резания  $t = 20\text{--}36$  мм

### Выводы

Промышленное внедрение новой технологии зубообработки ремонтных и восстановленных крупногабаритных зубчатых колес позволяет в 3-4 раза снизить трудоемкость чистовой операции, а также исключает необходимость приобретения по импорту дорогостоящих и малопроизводительных

зубошлифовальных станков. При этом качество поверхности зубьев выше, чем в случае зубошлифования, т.к. исключаются такие дефекты, прижоги, микротрещины, а в поверхностном слое образуются благоприятные напряжения сжатия.

Эксплуатация ремонтных и восстановленных крупногабаритных зубчатых колес показала, что срок службы колес того же порядка что и новых.

### Список литературы

1. Фрумин И. И. *Автоматическая электродуговая наплавка*. Харьков: Металлургиздат. 1961. 421 с.
2. Тимофеев Ю. В., Шаповалов В. Ф., Клочко А. А. *Специальные технологии зубообработки крупномодульных закаленных колес*: монография. Краматорск : ДГМА. 2011. 128 с. ISBN 978-966-379-524-9.
3. Тимофеев Ю. В., Мироненко Е. В., Клочко А. А., Шаповалов В. Ф. "Технологические аспекты обработки крупномодульных закаленных зубчатых колес". *Надежность инструмента и оптимизация технологических систем* : сб. науч.тр. Краматорск : ДГМА.2010. Вып. 26. С. 183–190.
4. Шаповалов В. Ф., Печеный В. И., Аристархов Н. И. "Расширение технических возможностей тяжелых зуборезных станков". *Вестник машиностроения*. 1994. № 6. С. 30–31.
5. Шаповалов В. Ф., Печеный В. И., Клочко А. А., Руин Г. Н., Налетов С. П., Аристархов Н. И., Коротков В. Д., Лобанов Н. А., Кузнецов А. В. Пат. 2082567 Российская Федерация, МКИ В23 F 5/00. Зубообрабатывающий станок. № 92009350. заявл. 01.12.1992; опубл. 27.06.1997. Бюл. № 18. 6 с. : ил.
6. Тимофеев Ю. В., Мироненко Е. В., Клочко А. А., Шаповалов В. Ф., Мироненко О. Е. Технология обработки крупномодульных закаленных зубчатых колес твердосплавными червячными фрезами". *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"* : зб. наук. пр. Тематичний випуск : *Технології в машинобудуванні*. Харків : НТУ ХПІ. 2010. № 40. С. 109–123.
7. Тимофеев Ю. В., Мироненко Е. В., Клочко А. А., Шаповалов В. Ф., Мироненко О. Е. "Обеспечение технологической точности обработки крупномодульных зубчатых колес специальным профилированием фрез". *Вісник Національного*

- технічного університету "Харківський політехнічний інститут": зб. наук. пр. Тематичний випуск: *Технології в машинобудуванні*. Харків: НТУ ХПІ. 2010. № 24. С. 77–83.
8. Тимофеев Ю. В., Клочко А. А., Шаповалов В. Ф. "новая технология скоростной обработки закаленных крупномодульных зубчатых колес специальными дисковыми фрезами". *Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Серія "Машиноприладобудування та транспорт"*. Севастополь. 2011. Вип. 118. С. 139–144.
  9. Литвинов В. М., Мironenko Е. В., Шелковой А. Н., Гасанов М. И., Клочко А. А. "Технологические особенности спрейной закалки крупногабаритных зубчатых колес в тяжелом машиностроении". *Надежность инструмента и оптимизация технологических систем*: сб. науч. тр. Краматорск: ДГМА. 2016. Вип. 38. С. 51–59.
  10. Шаповалов В. Ф., Пермяков А. А., Клочко А. А., Лишенко А. Н. "Скоростное зубофрезерование закаленных зубчатых колес. Важке машинобудування". *Проблеми та перспективи розвитку: матеріали п'ятнадцятої Міжнар. наук.-техн. конф., 30 травня – 1 червня 2017 р.* Під заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ: ДДМА. 2017. С. 96.
  11. Шелковой А. Н., Пермяков А. А., Клочко А. А., Анцыферова О. А., Шаповалов В. Ф. "Технологические возможности зубообработки высокоточных крупногабаритных зубчатых венцов". *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2017)*: матеріали тез доповідей VII міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 24–27 квіт. 2017 р.): у 2-х т. Чернігівський національний технологічний університет [та ін.]; відп. за вип.: Єрошенко Андрій Михайлович [та ін.]. Чернігів: ЧНТУ. 2017. Т. 1. С. 163–164.

## References

1. Frumin, I. (1961), *Automatic electric arc surfacing*. Kharkov: Metallurgizdat. 421 p.
2. Timofeev, Yu., Shapovalov, V., Klochko, A. (2011), *Special technologies of gear-cutting of coarse-grained hardened wheels*: monograph. Kramatorsk: DGMA. 128 p. ISBN 978-966-379-524-9.
3. Timofeev, Yu., Mironenko, E., Klochko, A., Shapovalov, V. (2010), "Technological aspects of treatment of coarse-grained hardened gears". *Tool reliability and optimization of technological systems*: Sat. sci. tr. Kramatorsk: DGMA. Issue 26. P. 183–190.
4. Shapovalov, V., Pechenyi, V., Aristarkhov, N. (1994), "Expansion of technical capabilities of heavy gear cutting machines". *Bulletin of Mechanical Engineering*. P. 30–31.
5. Shapovalov, V., Pechenyi, V., Klochko, A., Ruin, G., Naletov, S., Aristarkhov, N., Korotkov, V., Lobanov, N., Kuznetsov, A. (1997), Pat. 2082567 The Russian Federation. MKI B23 F 5/00. Gear processing machine. No. 92009350. 01.12.1992; publ. 27.06.1997. Bul. No. 18. 6 with. : ill.
6. Timofeev, Yu., Mironenko, E., Klochko, A., Shapovalov, V., Mironenko, O. (2010), "Technology of processing coarse-modulus hardened gears with carbide-tipped worm cutters". *The Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnical Institute" sciences. Ave. Subject visas: Technologies in machinebuilding*. Kharkov: NTU HPI. No. 40. P. 109–123.
7. Timofeev, Yu., Mironenko, E., Klochko, A., Shapovalov, V., Mironenko, O. (2010), "Provision of technological accuracy of processing coarse-grained cogwheels with special profiling of milling cutters". *The Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnical Institute" sciences. Ave. Subject visas: Technologies in machinebuilding*. Kharkov: NTU HPI. No. 24. P. 77–83.
8. Timofeev, Yu., Klochko, A., Shapovalov, V. (2011), "New technology of high-speed processing of hardened coarse-grained cogwheels with special disk cutters". *News of SevNTU: " : zb sciences. etc. A series of "Mashinoprikladobuduvannya that transport."* Sevastopol. No. 118. P. 139–144.
9. Litvinov, V., Mironenko, E., Shelkova, A., Gasanov, M., Klochko, A. (2016), "Technological features of spray hardening of large-sized gears in heavy engineering." *Tool reliability and optimization of technological systems*: Sat. sci. tr. Kramatorsk: DGMA. Vol. 38. P. 51–59.
10. Shapovalov, V., Permyakov, A., Klochko, A., Lishenko, A. (2017), "High-speed gear milling of hardened cog wheels". *The problems are that prospect of development: the material of the fifteenth Mizhnar. Sciences: -techn. conf., 30 April – 1 June 2017.* For the issue Ed. VD Koval'ova. Kramatorsk: DDMA. P. 96.
11. Shelkova, A., Permyakov, A., Klochko, A., Antsyferova, O., Shapovalov, V. (2017), "Technological possibilities of gear processing of high-precision large-sized gear wreaths". *The complex is responsible for the processing of technological systems (KZYATPS-2017): material theses of the VII International Scientific and Practical Conference (Chernigiv, 24-27 quarters, 2017): 2 tons of Chernigiv National Technical University [and others]; inv for the issue: Eroshenko A. M. [ and others]. Chernigiv: CHNTU. T. 1. P. 163–164.*

Received 11.10.17

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Клочко Олександр Олександрович** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", професор кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів, м. Харків, Україна; e-mail: ukrstanko21@ukr.net; ORCID: 0000-0003-2841-9455.

**Клочко Олександр Олександрович** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", професор кафедри технології машинобудування та металорежущих станків, г. Харьков, Украина; e-mail: ukrstanko21@ukr.net; ORCID: 0000-0003-2841-9455.

**Klochko Alexander** – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor of the Department of Technology of Machine Building and Metal Cutting Machine, Kharkiv, Ukraine; e-mail: ukrstanko21@ukr.net; ORCID: 0000-0003-2841-9455.

**Шелковий Олександр Миколайович** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", професор кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів, м. Харків, Україна; e-mail: alnikshelk@gmail.com; ORCID: 0000-0002-7414-4854.

**Шелковой Александр Николаевич** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", професор кафедри технології машинобудування та металорежущих станків, г. Харьков, Украина; e-mail: alnikshelk@gmail.com; ORCID: 0000-0002-7414-4854.



**Shelkovoy Alexander** – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor of the Department of Technology of Machine Building and Metal Cutting Machine, Kharkiv, Ukraine; e-mail: alnikshelk@gmail.com; ORCID: 0000-0002-7414-4854.

**Шаповалов Віктор Федорович** – кандидат технічних наук, ВАТ "Науково-дослідний проектно-технологічний інститут машинобудування", старший науковий співробітник, м. Краматорськ, Україна; e-mail: alnikshelk@gmail.com; ORCID 0000-0002-2688-8242.

**Шаповалов Виктор Федорович** – кандидат технических наук, ОАО "Научно-исследовательский проектно-технологический институт машиностроения", старший научный сотрудник, г. Краматорск, Украина; e-mail: alnikshelk@gmail.com; ORCID 0000-0002-2688-8242.

**Shapovalov Victor** – PhD (Engineering Sciences), JSC "Research and Design Institute of Mechanical Engineering", senior researcher, Kramatorsk, Ukraine; e-mail: alnikshelk@gmail.com; ORCID 0000-0002-2688-8242.

**Біловол Ганна Володимирівна** – кандидат технічних наук, Український державний університет залізничного транспорту, доцент кафедри теплотехніки та теплових двигунів, м. Харків, Україна; e-mail: annabel731@gmail.com; ORCID: 0000-0001-6168-5216.

**Беловол Анна Владимировна** – кандидат технических наук, Украинский государственный университет, доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей железнодорожного транспорта, г. Харьков, Украина; e-mail: annabel731@gmail.com; ORCID: 0000-0001-6168-5216.

**Belovol Anna** – PhD (Engineering Sciences), Ukrainian State University of Railway Transport, Associate Professor of the Department of Heat Engineering and Thermal Engines of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine; e-mail: annabel731@gmail.com; ORCID: 0000-0001-6168-5216.

**Анциферова Олеся Олександрівна** – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", асистент кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів, м. Харків, Україна; e-mail: ancyferova\_olesya@mail.ru; ORCID 0000-0002-2154-6614.

**Анциферова Олеся Александровна** – Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", ассистент кафедры технологии машиностроения и металлорежущих станков, г. Харьков, Украина; e-mail: ancyferova\_olesya@mail.ru; ORCID 0000-0002-2154-6614.

**Antsyferova Olesya** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Assistant of the Department of Mechanical Engineering Technology and Machine Tools, Kharkiv, Ukraine; e-mail: ancyferova\_olesya@mail.ru; ORCID 0000-0002-2154-6614.

## ТЕХНОЛОГІЯ РЕМОНТУ І ВІДНОВЛЕННЯ КРУПНОМОДУЛЬНИХ ЗАГАРТОВАНИХ ЗУБЧАТИХ КОЛІС МЕТОДОМ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ ЛЕЗОВОЇ ОБРОБКИ

**Предметом** дослідження в статті є актуальні питання, пов'язані з розробкою технології ремонту та відновлення великогабаритних зубчатих коліс приводів крокуючих екскаваторів, рудорозмельних млинів, кульових млинів. **Мета** – розробка нової технології ремонту і відновлення великогабаритних зубчатих коліс модулем ( $m = 12-65$  мм). **Завданням** є отримання гарантованої якості відновлення зубчастих вінців після ремонту при високопродуктивній обробці великогабаритних коліс, які працюють в агресивно абразивному середовищі. Запропоновано метод переривчастого обкату з використанням дискових немодульних фрез (розміри фрези не залежать від модуля оброблюваних зубів), оснащених керамічними пластинками і спеціальними фрезерними супортами. Метод переривчастого обкату використовується на зубостругальних і зубошліфувальних верстатах і має ту перевагу, що в момент робочого ходу інструменту заготівля або нерухома, або робить незначний поворот, тобто обробка протікає в порівнянні з методом обкатки, в більш жорстких умовах. **Результати** впровадження. Для реалізації нової високошвидкісної технології зубообробки були прийняті два напрями. Перший полягав у розробці нескладних за конструкцією спеціальних фрезерних супортів, що встановлюються на зубостругальних верстатах фірми "MAAG" (Швейцарія). Другий враховував вкрай мале число заводів, що мають верстати фірми "MAAG", і тому передбачав розробку, виготовлення і впровадження на заводах спеціальних фрезерних супортів до широко поширених вертикально-зубофрезерних верстатів. Впровадження нової технології ремонту та відновлення зубчатих коліс при чистовій обробці загартованих коліс з використанням зубостругальних верстатів вироблялося в виробничих умовах при обробці коліс псевдопланетарного редуктора з наступними характеристиками:  $m = 28$  мм;  $z_1 = 1$ ;  $z_2 = 24$ ;  $z_3 = 32$ ;  $b = 400$ ;  $\beta_0 = 0^\circ$ ; сталь 34ХМЮА; HRC 48 ... 54. У порівнянні з процесом зубошліфування, при якому в поверхневому шарі деталі створюються розтягуючі напруги, лезова обробка найбільш сприятлива. Стискаючі напруги підвищують зносостійкість деталей, контрактну і згинальну міцність зубчастих передач. **Висновки.** Промислове впровадження нової технології лезової зубообробки ремонтних і відновлених великогабаритних зубчатих коліс дозволяє в 3-4 рази знизити трудомісткість чистової операції, а також виключає необхідність придбання за імпортом дорогих і малопродуктивних зубошліфувальних верстатів. При цьому якість поверхні зубів вище, ніж в разі зубошліфування тому, що виключаються такі дефекти, як прижоги, мікротріщини.

**Ключові слова:** технології ремонту і відновлення, великогабаритні зубчаті колеса, метод переривчастого обкату, дискові немодульні фрези, високошвидкісна технологія, спеціальні фрезерні супорти.

## TECHNOLOGY OF REPAIR AND RESTORATION OF LARGE-MODULAR GOLDEN GEAR WHEELS BY HIGH-SPEED WOOD PROCESSING

The **subject** of the research in the article are topical issues related to the development of technology for the repair and restoration of large-sized gears of drives of walking excavators, ore-grinding mills, ball mills. The **goal** is to develop a new technology for repairing and restoring large-sized gears with a module ( $m = 12-65$  mm). The **task** is to obtain a guaranteed quality of restoration of gear rims after repair with high-performance machining of large wheels operating in an aggressive abrasive environment. The method of

intermittent rolling with the use of disk non-modular cutters is proposed (the dimensions of the mill do not depend on the module of the treated teeth), equipped with ceramic plates and special milling calipers. The method of intermittent rolling is used on gear-grinding and gear grinding machines and has the advantage that at the time of the working stroke of the tool the workpiece is either stationary or makes a slight turn, i.e. The treatment proceeds in comparison with the running-in method, under more stringent conditions. **Results** of implementation. Two new directions were adopted for the implementation of the new high-speed dental processing technology. The first was the development of simple special milling calipers mounted on the chamfering machines of MAAG (Switzerland). The second accounted for the extremely small number of factories that had MAAG machines, and therefore envisaged the development, manufacture and introduction of special milling calipers to widely used vertically hobbing machines. The introduction of a new technology for repairing and rebuilding toothed wheels during the finishing of hardened wheels with the use of a gear-cutting machine was carried out in production conditions when machining the wheels of a pseudo-planetary gearbox with the following characteristics:  $m = 28$  mm;  $z_1 = 1$ ;  $z_2 = 24$ ;  $z_3 = 32$ ;  $b = 400$ ;  $\beta_0 = 0^\circ$ ; steel 34XM10AA; HRC 48 ... 54. In comparison with the process of gear grinding, in which tensile stresses are created in the surface layer of the part, the blade treatment is most favorable. Compressive stresses increase wear resistance of parts, contractural and flexural strength of gears. **Conclusions.** The industrial introduction of new technology of blade machining of repair and restored large-sized gear wheels makes it possible to reduce the labor intensity of a finishing operation 3–4 times, and also eliminates the need to purchase expensive and low-performance gear grinding machines for import. In this case, the surface quality of the teeth is higher than in the case of gear grinding, because Excludes defects such as burns, microcracks.

**Keywords:** repair and recovery technologies, large-sized cogwheels, intermittent rolling method, disk non-modular cutters, high-speed technology, special milling calipers.

---