

2. Эйдзи К. Керамические материалы, обрабатываемые электроимпульсным методом // Оё кикай когаку. – 1983. – 24. – № 13. – С. 178–183.
3. Курамацу А. Технология обработки керамики. Шлифование и электроимпульсная обработка // Когё дзайрё, Eng. Mater. – 1983. – 31. – № 12. – С. 66–72.
4. Microstructure and electrical properties of  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -TiN composites sintered by hot pressing and spark plasma sintering / Z. Guo, G. Blugan, R. Kirchner et al // Ceramics International. – 2007. – V. 33. – N 7. – P. 1223–1229.
5. Ивженко В.В. Жаропрочные сплавы нитрид кремния – нитрид титана // Неорганические жаростойкие материалы, их применение и внедрение в народное хозяйство: – Кемерово: Изд-во КГУ, 1982. – ч. 1. – С. 147–148.
6. Ивженко В.В., Кузенкова М.А., Примак Л.П. Влияние добавок гидрида титана на структуру и прочность керамики на основе нитрида кремния // Химия гидридов: Тез. докл. 4 Всесоюз. Совещ. Душанбе, 17–18 ноября, 1987. – Душанбе, 1987. – С. 118.
7. Structure and properties of silicon and titanium nitrides – base materials / V. Ivzhenko, M. Kuzenkova, A. Svirid, S. Dub // Proc. of Second Int. Symp. on brittle matrix composites (BCM-2). – Cedzuma, 1988. – P. 31–32.
8. Глазов В.М., Охотин А.С. Методы исследования термоэлектрических свойств полупроводников. – М.: Атомиздат, 1969. – 174 с.

Поступила 27.05.09

УДК 621.913:621.833

**А. В. Кривошея<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, **В. Е. Мельник<sup>1</sup>**; **С. И. Сташкевич<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

<sup>2</sup>Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОБЩЕННОЙ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПЛОСКИХ КОНТУРОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С РАЗЛИЧНЫМ ПРОФИЛЕМ**

*The problem of theoretical shape forming of cylindrical gears with different profiles is considered in the papers.*

Цилиндрические зубчатые передачи как составляющие большинства машин и механизмов широко используются в автомобиле-, тракторо-, редукторо-, станко-, самолетостроении- механизмах рудоразмольных мельниц и других машинах и механизмах.

По современным представлениям синтез зубчатых передач необходимо осуществлять с учетом всего их жизненного цикла, т. е. в единой технической системе, которая включает взаимосвязанные подсистемы теоретического и технологического (реального) формообразования звеньев такой технической системы [1].

Вопросы теоретического задания, или формообразования, и математического описания цилиндрических зубчатых передач с произвольным, но постоянным вдоль оси зубчатого колеса профилем можно решить в рамках обобщенной плоской подсистемы теоретического формообразования зубчатых зацеплений.

Результаты анализа существующих способов и методик теоретического синтеза цилиндрических зубчатых передач с произвольным, но постоянным вдоль оси зубчатого колеса

профилем показывают, что не все они изучены полной мере прежде всего из-за отсутствия детальной обобщенной структурной схемы теоретического задания, или формообразования, ее обобщенной унифицированной программно-реализованной математической модели и совершенной методики их анализа и синтеза. Первая попытка разработать обобщенную структурную схему теоретического формообразования плоских систем зубчатых зацеплений была предпринята украинскими учеными А.Кривошеей и В.Мельником [2].

Цель настоящей работы – усовершенствовать, обобщенную структурную схему теоретического задания, или формообразования, цилиндрических прямо- и косозубых передач с различными, но постоянными вдоль оси зубчатого колеса профилями, в том числе модифицированным.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Проанализировать существующие структурные схемы теоретического задания, или формообразования контуров плоских систем зубчатых зацеплений и уточнить элементы, звенья, связи, ограничения и процессы в обобщенной структурной схеме теоретического формообразования цилиндрических зубчатых передач.

2. Уточнить структуру обобщенной схемы теоретического задания или формообразования, контуров плоских систем зубчатых зацеплений с произвольным, но постоянным вдоль оси зуба профилем.

3. Уточнить структурные формулы задач решение которых обеспечит теоретический синтез плоских систем зубчатых зацеплений с более общих позиций.

Основная особенность задания, или формообразования, цилиндрических зубчатых передач состоит в том, что их необходимо проектировать совместно для соединенных в пару зубчатых контуров цилиндрических зубчатых передач.

Другая особенность проектирования соединенных в пару контуров цилиндрических зубчатых передач заключается в задании контуров их зубчатых венцов, как правило, формообразованием исходными формообразующими контурами, которые необходимо задавать и математически описывать чисто теоретическим способом.

Однако теоретическое задание пары исходных формообразующих контуров, обеспечивающих оптимальное формообразование цилиндрической зубчатой пары, особенно для модифицированных эвольвентных и неэвольвентных цилиндрических передач как с линейным, так и точечным контактом, является сложной научной задачей.

Для конкретного семейства эвольвентных цилиндрических передач можно определить единый исходный формообразующий реечный контур, являющийся контршаблоном стандартного исходного контура, линейные параметры которого пропорциональны модулю и стандартизированы [3], однако вследствие этого значительно сужается область применения эвольвентной цилиндрической зубчатой передачи [4]. Параметры стандартных исходных контуров в разных странах различны [5].

Структурные схемы формообразования семейства наиболее распространенных эвольвентных зубчатых контуров цилиндрических зубчатых передач с линейным контактом и использованием единого стандартного реечного, а также реечного и дискового исходных формообразующих контуров показаны на рис. 1 [3].

Российский ученый Э. Вулгаков доказал, что использование единого стандартного исходного реечного контура при формообразовании сопряженных контуров значительно сужает область применения эвольвентной цилиндрической зубчатой передачи и возможность поиска ее оптимальной геометрии относительно эксплуатационных показателей зубчатой передачи [4].

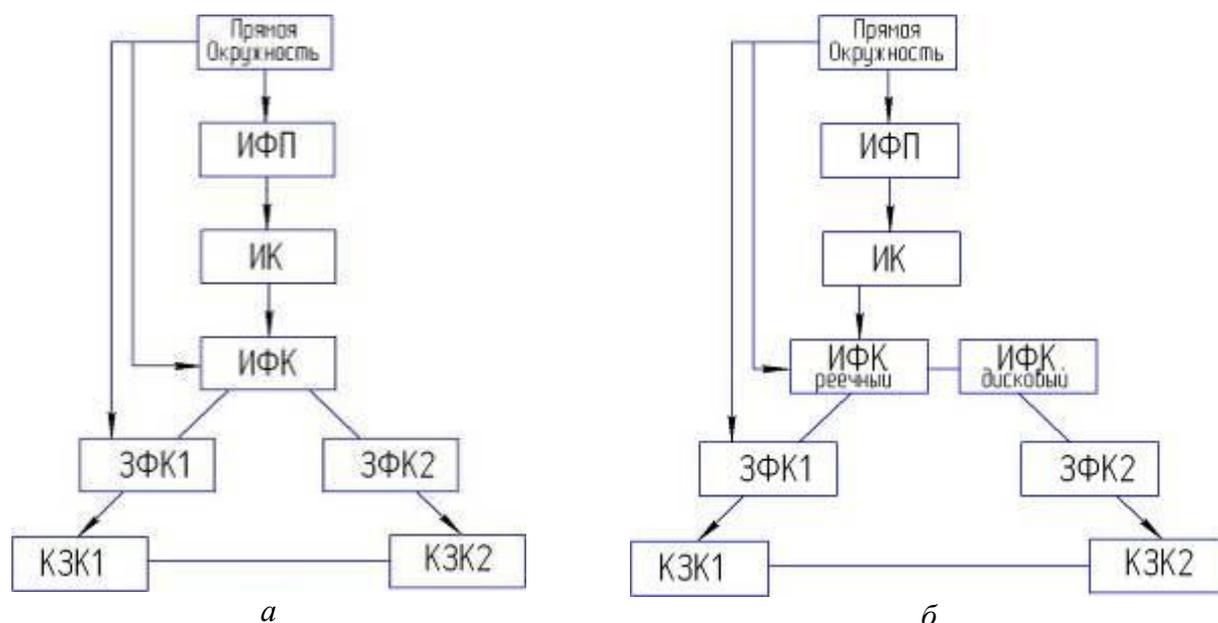


Рис. 1. Структурные схемы формообразования семейства эвольвентных цилиндрических зубчатых передач с использованием единого исходных формообразующих контуров (ИФК) реечного (а); б – реечного и дискового контуров (б) (ИФП – исходный формообразующий профиль; ИК – исходный контур; ЗФК – зубчатый формообразующий контур; КЗК – контур зубчатых колес)

Структурная схема формообразования эвольвентных сопряженных контуров цилиндрических зубчатых колес по Э. Вулгакову показана на рис. 2, а.

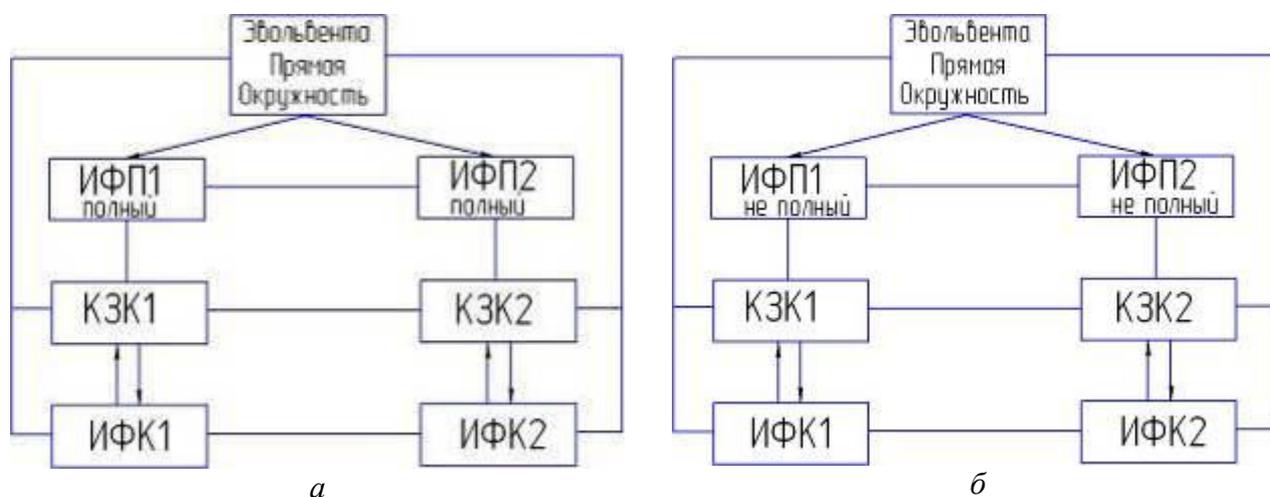


Рис. 2. Структурные схемы формообразования эвольвентных сопряженных контуров цилиндрических зубчатых колес: а – по Э. Вулгакову; б – при задании полных контуров

Хотя предложенный подход имеет существенные преимущества по сравнению с традиционным, он не является оптимальным (например, для неэвольвентных передач с линейным и особенно точечным контактом). Известны структурные схемы, в которых задаются сразу полные контуры пары цилиндрических зубчатых колес. Тогда структурная схема приобретает вид, изображенный на рис. 2, б.

Метод синтеза цилиндрических зубчатых с точечным контактом и профилем Новикова разработали В. Кудрявцев, Ю. Державец и Е. Глухарев [6]. С помощью этого метода они создали косозубые цилиндрические зубчатые передачи с выпукло-вогнутыми профилями большей по сравнению с эвольвентными нагрузочной способностью.

Структурная схема формообразования зубчатых контуров цилиндрических зубчатых передач с зацеплением Новикова показана на рис. 3.

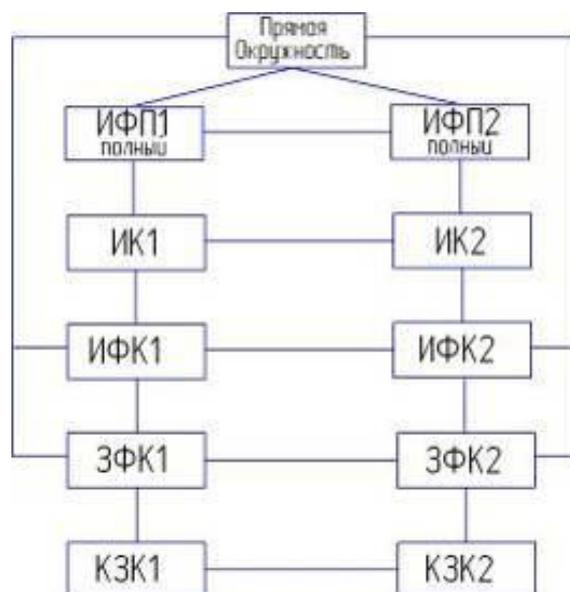


Рис. 3. Структурная схема формообразования цилиндрических зубчатых колес передачи с точечным контактом и одной линией зацепления

Более технологичной является передача с зацеплением типа Новикова и стандартным исходным контуром, но двумя линиями зацепления, так как в этом случае используется единый исходный формообразующий контур [7] и структурная схема системы зацеплений в этом случае аналогична рис. 1, а.

Для формообразования цилиндрических зубчатых колес с линейным контактом и произвольным профилем главной боковой поверхности, в том числе состоящим из отрезков различных линий используют первый принцип Оливье, согласно которому сопряженная цилиндрическая зубчатая пара с линейным контактом может быть формообразована двумя совпадающими исходными формообразующими реечными контурами [8]. Однако при этом следует учитывать достаточное условие, установленное А. Павловым [9].

Все приведенные структурные схемы формообразования можно рассматривать как частный случай обобщенной структурной схемы формообразования плоских систем зубчатых зацеплений, предложенной М. Ериховым [10].

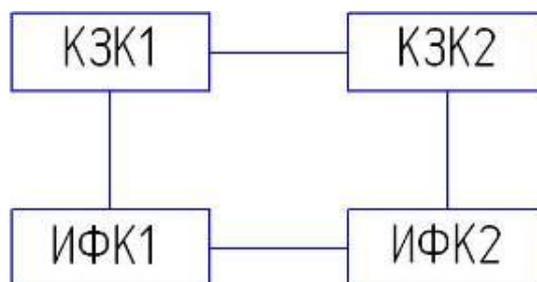


Рис. 4. Обобщенная схема формообразования плоских зубчатых зацеплений по М.Л.Ерихову.

Предложенная М. Ериховым система зацеплений учитывает технологические свойства зацеплений, что явилось решающим фактором для развития теории зубчатых зацеплений и совершенствования технологии их изготовления.

К общим недостаткам приведенных структурных схем формообразования цилиндрических зубчатых колес, относятся отсутствие более широкой библиотеки кинематических

линий, отрезки которых могут быть элементами ИФП, отсутствие обобщенной методики задания и обобщенного математического описания хотя бы одного, а при необходимости двух исходных формообразующих звеньев системы с профилями любой сложности, которыми могут быть любые контуры системы зацеплений, а также отождествление исходных формообразующих и исходных производящих контуров.

Известно, что для формообразования одного и того же контура цилиндрического зубчатого колеса можно использовать множество ИФК выбрать из этого множества один или часть множества ИФК, которые могут быть взяты прототипом для реализации в зуборезном инструменте. Однако это сложная задача.

В этой связи ИФК возьмем такие, которые используются только для теоретического формообразования контуров цилиндрических зубчатых колес, а ИПК – такие, которые являются прототипами зубообрабатывающих инструментов и определяются при решении прямой задачи формообразования [11]. В частном случае ИФК и ИПК могут совпадать, поэтому ИПК также должны быть отдельными звеньями формообразующей подсистемы теоретического формообразования.

Результаты анализа свидетельствуют о том, что обобщенная структурная схема системы теоретического формообразования соединенных в пару контуров цилиндрических зубчатых передач с теоретически точечным и теоретически линейным контактом должна включать следующие элементы и звенья:

- библиотеку кинематических линий (БЛ);
- а также линий, полученных специальным расчетом [9];
- исходные формообразующие профили;
- исходные контуры;
- исходные формообразующие контуры;
- исходные производящие контуры;
- заготовки контуров зубчатых звеньев;
- контура зубчатых колес цилиндрической зубчатой передачи.

Прямыми и обратными связями между звеньями являются связи между параметрами установки звеньев и их относительного движения, а также обеспечивающие формообразование и сопряжение звеньев [1].

Процессы формообразующей системы плоских зацеплений – это процессы задания, формообразования, анализа и синтеза звеньев системы.

На основании приведенного анализа приходим к выводу, что уточненная обобщенная структурная схема теоретического формообразования плоских систем зубчатых зацеплений имеет вид рис. 5.

Ограничения подсистемы, обеспечивающие качество контуров и зубчатой передачи в целом диаметр выступов контура, граничный диаметре контура, размер радиального и бокового зазоров.

С помощью обобщенной схемы можно решать следующие структурные задачи:

- |                   |                       |
|-------------------|-----------------------|
| 1.1. БЛ → ИФП ик  | 1.10. ИК1,2 → ИФК1,2  |
| 1.2. БЛ → ИФП ифк | 1.11. ИФК1 → ИФК2     |
| 1.3. БЛ → ИФП ипк | 1.12. ИФК1,2 → ИПК1,2 |
| 1.4. БЛ → ИФП кзк | 1.13. ИПК1 → ИПК2     |
| 1.5. ИФП → ИК     | 1.14. ИФК1,2 → КЗК1,2 |
| 1.6. ИФП → ИФК    | 1.15. ИПК1,2 → КЗК1,2 |

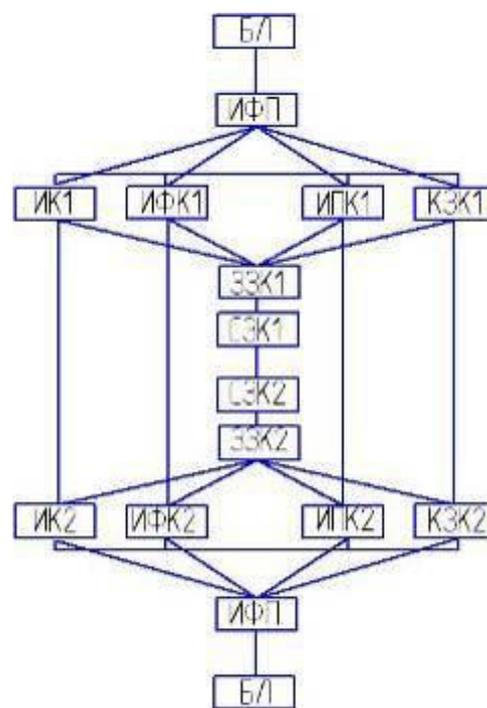


Рис. 5. Обобщенная структура формообразующей подсистемы плоских зубчатых зацеплений. Связи, ограничения и процессы обозначены линиями.

1.7. ИФП → ИПК

1.8. ИФП → КЗК

1.9. ИК1 → ИК2

1.16. КЗК1 → КЗК2

1.17. КЗК1,2 → ИФК1,2

1.18. КЗК1,2 → ИПК1,2

Методика задания и математического описания исходных формообразующих профилей, состоящих из отрезков различных линий, приведена в [12] (задачи 1.1 – 1.4).

Предложенная обобщенная структура теоретического задания и формообразования звеньев формообразующей подсистемы плоских систем зубчатых зацеплений позволяет определить множество возможных вариантов частных структурных схем и определить в результате их анализа и синтеза оптимальную структурную схему формообразования в каждом конкретном случае в зависимости от решаемых задач, что необходимо выполнить в дальнейших исследованиях. Такими задачами могут быть: повышение качественных показателей зубчатых передач, снижение себестоимости изготовления и ремонта зубчатых передач, повышение точности обработки зубчатых передач.

### Выводы

1. В результате анализа существующих структурных схем задания и формообразования контуров цилиндрических зубчатых передач с различными в том числе модифицированным, профилями усовершенствована обобщенная структурная схема формообразования контуров.

2. Уточнены элементы, звенья, связи, ограничения и процессы обобщающей структурной схемы формообразования контуров.

3. Уточнены структурные формулы задач, решение которых обеспечит теоретический синтез плоских систем зубчатых зацеплений с более общих позиций.

4. Поставлены задачи дальнейших исследований.

### Литература

1. Кривошея А. В., Данильченко Ю. М. Обобщенная унифицированная математическая модель формообразования звеньев системы зубчатых зацеплений // Сучасні процеси механічної обробки з НТМ та якість поверхні деталей машин. Сер. 1. Процеси механічної обробки, верстати та інструменти ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України. – К. 2006. – С. 169 – 180.
2. Кривошея А. В., Мельник В. Є. Схематичне і структурне представлення способів задання та формоутворення плоских систем зубчастих зацеплень // Вісник. – 2003 г. – вип. 2(26). – С. 94 – 100.
3. И. А. Болотовский, Б. И. Гурьев, В. Э. Смирнов, Б. И. Шендерей. Цилиндрические эвольвентные зубчатые передачи внешнего зацепления // – М.: Машиностроение, 1974. - 160 с.
4. Вулгаков Э. Б. Теория эвольвентных зубчатых передач. – М.: Машиностроение, 1995. – 320 с.
5. Курлов Б. А. Расшифровка цилиндрических и конических зубчатых передач. – М.: Машиностроение, 1972. – 134 с.
6. Кудрявцев В. Н., Державец Ю. А., Глухарев Е. С. Конструкции и расчет зубчатых редукторов: Справоч. пособие. – Л. Машиностроение, 1971. 328 с.
7. ГОСТ 15023-76. Передачи Новикова цилиндрические с двумя линиями зацепления. Исходный контур. – М.; Изд-во стандартов, 1976. – 6 с.
8. Литвин Ф. Л. Теория зубчатых зацеплений. - М.: Наука, 1968. – 584 с.
9. Павлов А.И. Современная теория зубчатых зацеплений. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2005. – 100 с.
10. Ерихов М. Л. Принципы статистики, методы анализа и вопросы синтеза зубчатых зацеплений: Дисс. д-ра. техн. наук. – Хабаровск, 1972. – 324 с.

11. Родин П. Р. Основы формообразования поверхностей резанием. – К: Выща шк. 1981. – 152 с.
12. Методика задания и математического описания исходных формообразующих профилей / А. В. Кривошея, О. У. Петасюк, В. Е. Мельник, Коринец А. В. // Сверхтвердые матер. – 2004. – вып. 1. – с. 52-65.

Поступила 22.05.09

УДК 621.913:621.833

**О. А. Розенберг<sup>1</sup>**, д-р. техн. наук, **В. Я. Рыбак<sup>1</sup>**, **А. В. Кривошея<sup>1</sup>**, кандидаты технических наук, **В. Е. Мельник<sup>1</sup>**, **В. В. Лотоус<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

<sup>2</sup>Полтавский горнообогатительный комбинат, г. Комсомольск на Днестре, Украина

### **АНАЛИЗ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ**

*Test results and ways of improving of highly loaded mill gear drives restoration methods are given in the article.*

В горно-перерабатывающей промышленности, на мельницах горно-обогатительных комбинатов Украины в приводах механизмов используют зубчатые колеса диаметром 4–12 м, массой 12–16 т. Как правило, колеса сборные и состоят из двух-четырех секторов. Большинство колес косозубые с углом наклона зубьев 5,25°, модуле – 20 мм и шириной зубчатого венца 800 мм. Зубчатые колеса (венцы) закрепляют механически на барабанах мельниц. В процессе эксплуатации венцов в течение 8–12 лет износ зубьев по профилю составляет 7-8 мм. По истечении этого срока колёса разрезают на части и отправляют на переплавку. Учитывая расходы на разрезание, переплавку и механическую обработку этих крупногабаритных деталей, целесообразнее восстанавливать зубья колес. Для восстановления зубьев крупномодульных крупногабаритных колес применяют следующие методы:

- наплавку изношенных поверхностей зубьев металлом и механическую обработку до получения исходных размеров зубчатого венца;
- специальную форму круговой впадины зубьев колеса без применения наплавки, с установлением промежуточных тел, т. е. переходят на зубчатороликовую передачу;
- вместо эвольвентного профиля зубьев с линейным контактом переходят на выпукловогнутый с точечным контактом.

#### **1. Восстановление профиля зубьев венца с применением наплавки**

Работы по восстановлению зубчатых венцов мельниц с применением наплавки были начаты в 1997 году по инициативе Ингулецкого Горно-обогатительного комбината (г. Кривой Рог) при участии следующих организаций. ООО «Укркомплект» (г. Кривой Рог) разработал технологию восстановления, осуществлял наплавку изношенных поверхностей зубьев колеса и организацию их механической обработки, Институт электросварки им. Е.О. Патона – электроды для наплавки, Институт сверхтвердых материалов – материал и конструкцию специального твердосплавного режущего инструмента для обработки наплавленных поверх-