

М.В. МАРГУЛИС, д.т.н., профессор каф. ТМ ПГТУ, Мариуполь;
Н.В. КИСЕЛЬ, магистр каф. ТМ ПГТУ

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭКОНОМИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ ЗАГОТОВКИ ГИБКОГО ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА И ПРОГРЕССИВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НАРЕЗАНИЯ ЗУБЬЕВ НА ГИБКОМ И ЖЁСТКОМ КОЛЁСАХ ВОЛНОВОЙ ТОРЦЕВОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ

Приведены теоретические положения, на основании которых разработана новая рациональная и экономичная конструкция заготовки ТВЗП и прогрессивный технологический процесс нарезания зубьев. Исследована прочность сварных соединений и особенности холодного мелко модульного накатывания. Их использование в торцевых волновых зубчатых передачах позволит существенно увеличить их долговечность, надежность, уменьшить массогабаритные показатели и себестоимость изготовления.

Приведені теоретичні положення, на основі яких розроблена нова раціональна та економічна конструкція заготовки ПЗП та прогресивний технологічний процес нарізання зубців. Досліджена міцність зварних з'єднань та властивість холодного дрібно модульного накатування. Їх використання в торцевих хвильових зубчатих передачах дозволить істотно збільшити їх довговічність, надійність, зменшити масогабаритні показники і собівартість виготовлення.

The brought theoretical positions over, on the basis of that the new rational and economic construction of purveyance of Wave BUTT-END Gearing and progressive technological process cutting of indents are worked out. Investigational durability of weld-fabricated connecting and property of cold rolling. Their use their longevity, reliability, will allow in the butt-end wave gearing substantially to increase, to decrease mass and sizes indexes and prime price of making.

Анализ технико-экономических показателей приводов металлургических, транспортных, горнорудных, грузоподъемных и других машин, выполненный отечественными и зарубежными учёными, показал, что они не соответствуют современным требованиям и должны быть значительно улучшены.

Таким образом, совершенствование приводов машин в настоящее время является одной из актуальнейших проблем машиностроения. Это связано с тем, что привод является наиболее сложной, трудоёмкой и ответственной частью любой машины. От его качества в большой мере зависит производительность, надёжность, долговечность и экономичность машины.

Для повышения этих показателей необходимы разработки новых высокоэкономичных видов передаточных механизмов приводов [1]. К таким механизмам относится волновая зубчатая передача. Волновая передача — механическая передача, передающая движение за счет циклического возбуждения волн деформации в гибком элементе.

Торцевая волновая зубчатая передача (ТВЗП) является конструктивной разновидностью волновых зубчатых передач. Применение ТВЗП может значительно уменьшить осевые размеры и массу передаточного механизма при сохранении всех преимуществ волновых передач перед неволновыми, такими как: уменьшение массогабаритных параметров механизма, повышение КПД, увеличение надежности, уменьшение себестоимости изготовления и эксплуатации.

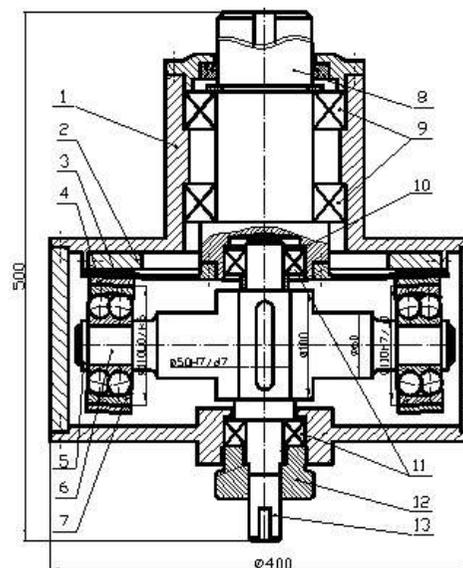


Рисунок 1 – Рациональная конструктивная схема торцевой волновой зубчатой передачи [1]:

1 – корпус, 2 – жесткое колесо, 3 – гибкое колесо, 4 – подкладные кольца, 5 – стопорные шайбы, 6 – вал генератора волн, 7 – сферические самоустанавливающиеся подшипники со втулками, 8 – выходной вал, 9 – подшипники, 10 – пружинные шайбы, 11 – подшипники, 12 – регулирующая гайка, 13 – входной вал

колёса, а так же прогрессивный процесс нарезания мелко модульных зубьев на гибком и жестком колесах. Данные решения помогут повысить производительность, снизить себестоимость, обеспечить необходимую работоспособность и долговечность торцевой волновой зубчатой передачи в условиях серийного производства.

Известны два способа получения заготовки гибкого колеса ТВЗП.

Ранее оно изготавливалось из цельного листа высококачественной легированной стали и из двух частей – базового тонкостенного диска из менее прочной стали, на котором наплавляется многослойное кольцо из высокопрочного материала для нарезания зубьев.

Однако, оба эти способа нерациональны, т.к. коэффициент использования материала весьма низкий – $k_{им}=0,4...0,45$, а трудоёмкость высокая.

Нами предложен способ получения заготовки гибкого колеса выполненной из двух элементов (рисунок 4): базового диска 1 сталь 40Х ГОСТ 4545-71 из листового горячекатаного проката ГОСТ 19903-74 и кольца 2, из горячекатаной цельнотянутой трубы ГОСТ 8732-78 изготовленной из стали 30ХГСА ГОСТ 4543-71, соединённых в цельную конструкцию посредством сварки специальными электродами НИАТ-5. Данный способ получения заготовки гибкого колеса ТВЗП приводит к

Данная ТВЗП (рисунок 1) работает следующим образом: перемещения генератора волн происходит с помощью регулировочной гайки 12, которая вкручивается в ступицу корпуса 1, до требуемой глубины захода зубьев гибкого колеса 3 в зубья жесткого колеса 2. Затем двигатель (не показан на рисунке 1) приводит во вращение генератор волн 6, посредством втулок с подшипниками. Вращение по наружной поверхности ГК создаёт волновые зацепления и приводит во вращение выходной вал 8, связанный с исполнительным устройством (не показан на рисунке 1).

Гибкое колесо ТВЗП имеет специфическую конструкцию в виде гибкого тонкостенно диска, на котором выполнены мелко модульные зубья, которые несут большие изгибные и контактные нагрузки.

Для решения поставленных задач, нами предлагается применить новую высокоэкономичную конструкцию заготовки гибкого

снижению трудоёмкости и себестоимости, а также повышению производительности обработки гибкого колеса в условиях серийного производства [4].

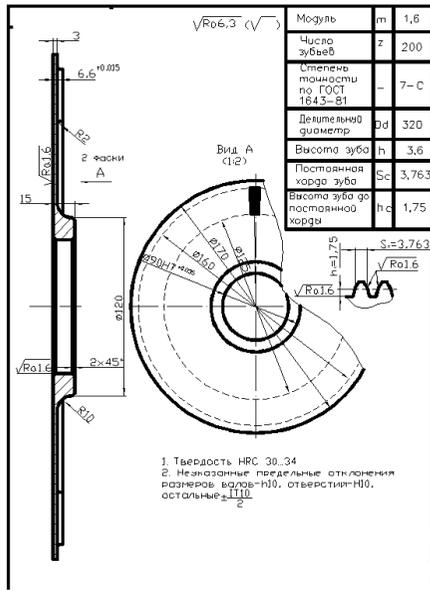


Рисунок 2 – Гибкое колесо

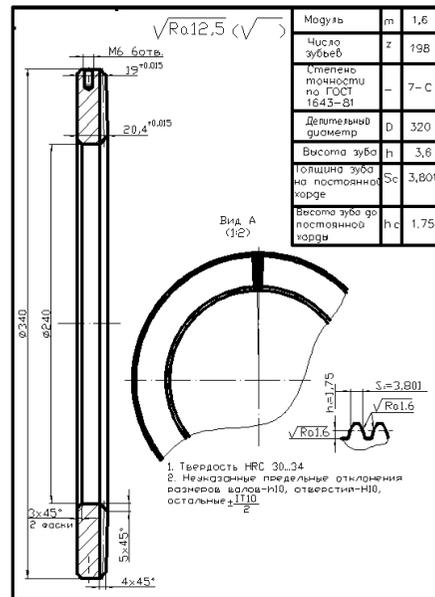


Рисунок 3 – Жесткое колесо

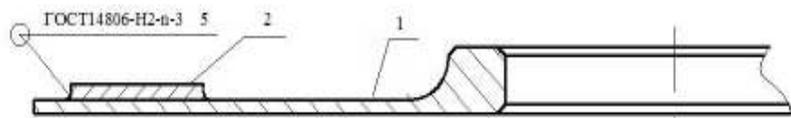


Рисунок 4 – Эскиз предложенной конструкции заготовка гибкого колеса ТВЗП

Использование предложенного нами процесса сварки при изготовлении гибкого колеса из двух частей обеспечивает значительное уменьшение массы заготовки ($k_{\text{ИМ}}=0,8$), в отличие от способа получения цельной заготовки из высоколегированной стали или от способа наплавки рабочего слоя на базовый диск. Это объясняется тем, что масса сварных швов обычно составляет от 1 до 2% от массы свариваемых элементов [3], тогда как масса наплавляемого слоя составляла 35% от свариваемых частей заготовок.

После сварки шов имеет аналогичный химический состав и близкие механические свойства со свариваемыми частями заготовки предложенной конструкции. На рисунке 5 приведен график значения микротвёрдости сварного шва из электродов НИАТ-5 при сварке образцов из стали 30ХГСА ГОСТ 4543-71.

Временное сопротивление разрыву для стали 30ХГСА=590МПа; твердость шва =88HRB [2]. Допускаемое напряжение на гибком колесе при кручении ГК для нашей ТВЗП составляет 67МПа. Следовательно, заготовка, полученная методом сварки из двух частей, полностью соответствует прочностным характери-

кам, предъявляемым к ГК ТВЗП. Трудоёмкость при сварке уменьшается в 8..9 раз по сравнению со способом наплавки из-за сокращения штучно-калькуляционного времени на сварку и последующую механическую обработку.



Рисунок 5 – Микротвёрдость на расстоянии 2мм от верхней поверхности сварного шва стали 30ХГСА [2]

В торцевой волновой зубчатой передаче сложным конструктивным элементом являются зубчатые венцы гибкого и жёсткого колёс. Ранее для выполнения зубьев использовался метод нарезания с помощью дисковой фрезы на фрезерном станке с ЧПУ (с поворотным столом). Недостатком данного метода является низкая точность зубчатого профиля и высокая трудоёмкость в связи с уменьшением припусков на мехобработку.

Существенно повысить точность и уменьшить трудоёмкость изготовления с учётом мелкомодульности ($m=1...2\text{мм}$) зубчатого профиля гибкого колеса можно с помощью холодной накатки венца. Накатывание зубьев предлагается осуществлять способом холодного пластического деформирования материала специальным инструментом, включающим два силовых ролика, которые осуществляют формообразование зубьев [3]. Процесс основан на принципе накатывания отличающийся высокой производительностью и точностью выполнения зубьев. Точность холодного накатывания зубьев зубчатых колёс соответствует 6-7-й степени по ГОСТ 1643-56, а шероховатость обработанной поверхности зуба $Ra=0,63-0,04\text{мкм}$ [3].

Образование профиля зубьев (сталь 30ХГСА ГОСТ 4543-71) двумя накатными роликами, производится радиальной подачей. Для изготовления роликов используется ферромагнитный материал Р6М5 ГОСТ 2590-88. При пластическом деформировании заготовок происходит упрочнение металла зубьев шестерен, выражающееся в увеличении микротвёрдости зубьев примерно на 40-50%. При этом наблюдается существенное увеличение прочности накатных зубьев по сравнению с фрезерованием и долблением.

Учитывая изложенное нами, в качестве рабочего инструмента предложена конструкция с использованием двух накатных роликов, которые посредством радиальной подачи устанавливаются над рабочей поверхностью заготовки (рисунок 6). Диаметры роликов составляют 75% от диаметра зубчатого

профиля. Накатывание осуществляется при глубине вдавливания первого ролика на 1/3 и второго ролика на 2/3 высоты профиля зубьев. Это связано с тем, что прочность поверхностного слоя материала значительно выше прочности внутреннего слоя материала заготовки.

Характер распределения твердости по профилю накатанных зубьев для различных материалов в большинстве своем одинаков, а величины твердости зависят от исходного накатываемого материала заготовки. На рисунке 7 показано распределение твердости по профилю зуба накатанного зубчатого колеса из хромистой стали 40Х ГОСТ 4543-71. В зоне наибольших деформаций заготовки обычно наблюдается повышение твердости на 30-50% по сравнению с исходной твердостью заготовки [4].

При накатывании в холодном состоянии следует ограничить величины подачи инструмента до $S=15 \dots 20$ об/мин, что обеспечивает требуемую точность и шероховатость накатываемой поверхности. На рисунке 8 приведена зависимость шероховатости поверхности от скорости и подачи при холодном накатывании зубчатых колес [5].

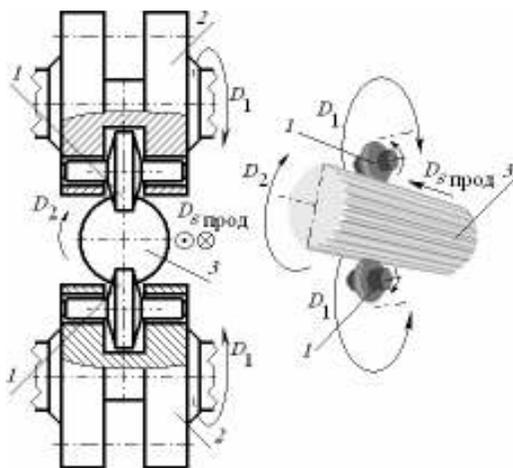


Рисунок 6 – Схема процесса накатки зубьев двумя роликами с радиальной подачей двух роликов на различную глубину вдавливания

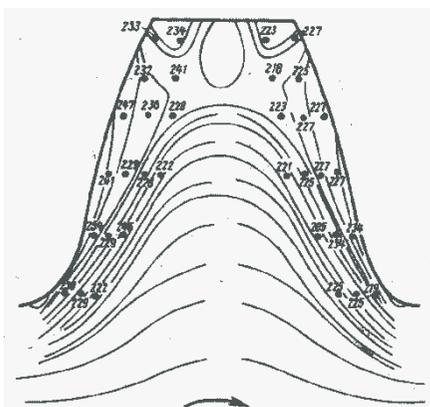


Рисунок 7 – Распределение твердости по профилю накатного зуба (сталь 40Х) по Бринеллю (НВ)

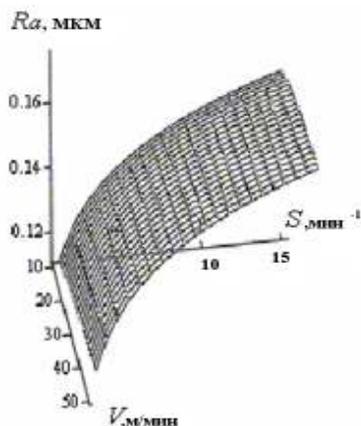


Рисунок 8 – Зависимость высоты микронеровностей (R_a) на накатываемой поверхности от скорости (V) и подачи (S)

Выводы:

1. Разработана технология изготовления заготовки гибкого колеса ТВЗП с коэффициентом использования материала $k_{им}=0,8-0,85$.
2. Предложен высокоэкономичный технологический процесс накатывания зубьев гибкого и жесткого колес с использованием специального накатного устройства.

Список литературы: 1. Маргулис М.В. Торцовая хвильовая зубчатая передача // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. Збірник наукових праць. – 1999. – №6. – С.69-73. 2. Справочник в 4-х т. Т.1. / Под ред. А.И. Акулова. – М.: Машиностроение, 1978. – 379с. 3. Сварка и свариваемые материалы: В 3-х т. – Т.1. Свариваемость материалов. Справ. изд. / Под ред. Э.Л. Макарова. 4. Прогрессивные технологические процессы в автостроении. Механическая обработка, сборка / Под ред. С.М. Степашина. – М.: Машиностроение, 1980. – 320с. 5. Барбарич М.В., Хорунженко М.В. Накатывание цилиндрических зубчатых колес. – М.: Машиностроение, 1970. – 191с.

Поступила в редколлегию 04.04.12

УДК 621.833

П.Л. НОСКО, д.т.н., проф., зав. каф. машиноведения ВНУ им. В. Даля, Луганск;
В.П. ШИШОВ, д.т.н., профессор каф. машиноведения ВНУ им. В. Даля;
А.А. МУХОВАТЫЙ, к.т.н., ст. преп. каф. машиноведения ВНУ им. В. Даля

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСХОДНЫХ КОНТУРОВ С НЕРАВНОДЕЛЕННЫМ ШАГОМ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Дана математическая модель зубчатой передачи с использованием прямобочного исходного контура, даны рекомендации по определению параметров исходного контура зубьев с неравноделенным шагом эвольвентных зубчатых передач с повышенной нагрузочной способностью.

Надана математична модель зубчастої передачі з використанням прямобічного вихідного контуру, надані рекомендації до визначення параметрів вихідного контуру зубців з нерівноподіленим кроком евольвентних зубчастих передач зі збільшеною навантажувальною здібністю.

Here is mathematic model of gear In operation the method of synthesis of gears with use of the parameters value, making the basic impact on magnitude of criteria of working capacity of linkage is developed. The initial head loop ensuring improvement of criteria of working capacity of gears is synthesized.

Постановка задачи. Большинство современных машин содержат приводы с передачами зацеплением, совершенствование которых является важной актуальной задачей, относящейся к проблеме многокритериального синтеза машиностроительных конструкций [1].

Анализ литературы. Создание высоконагруженных передач зацеплением связано с нахождением геометрии рабочих поверхностей, обеспечивающей высокие значения критериев работоспособности зацепления [2...8]. В