

УДК 621.9.04

В. А. Данилов¹, Е. В. Борис²

¹Белорусский национальный технический университет, Министерство образования Республики Беларусь, пр-т Независимости, 65, 220013 Минск, Республика Беларусь, +375 (017) 293 93 58, danilofva@mail.ru

²Закрытое акционерное общество «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», ул. Козлова, 69, 223710 Солигорск, Республика Беларусь, +375 (33) 698 30 88, atp.even@yandex.ru

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРИВОДОВ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОФИЛЬНЫХ МОМЕНТОПЕРЕДАЮЩИХ СОЕДИНЕНИЙ

Рассмотрены технологические и эксплуатационные преимущества профильных моментопередающих соединений, опыт их применения в машиностроении. Определены научно-технические и организационные задачи, связанные с производством и применением таких соединений в условиях единичного и мелкосерийного производства приводов и пути их решения. Дана характеристика прогрессивных схем формообразования профильных поверхностей (далее — ПС) с упрощенной кинематикой, рекомендуемых для реализации на универсальных станках. Приведен пример модернизации редуктора с заменой шлицевых соединений и зубчатых муфт ПС, обеспечившей его высокую долговечность.

Ключевые слова: профильные соединения; привод; редуктор; крутящий момент; производительность; схема; обработка.

Рис. 6. Табл. 2. Библиогр.: 20 назв.

V. A. Danilau¹, Ya. V. Borys²

¹Belarusian National Technical University, Ministry of Education of the Republic of Belarus, 65 Nezavisimosti Ave., 220013 Minsk, the Republic of Belarus, +375 (017) 293 93 58, danilofva@mail.ru

²Closed Joint-Stock Company “Soligorsk Institute of Resources Saving Problems with Pilot Production”, 69 Kozlov St., 223710 Soligorsk, the Republic of Belarus, +375 (33) 698 30 88, atp.even@yandex.ru

INCREASING THE DURABILITY OF MACHINERY DRIVES BASED ON THE APPLICATION OF PROFILE TORQUE-TRANSMITTING JOINTS

The technological and operational advantages of profile torque-transmitting joints, the experience of their application in mechanical engineering are considered. The scientific, technical and organizational tasks associated with the production and use of such joints in the conditions of single and small-scale production of drives and ways to solve them are determined. Progressive schemes of forming profile surfaces with simplified kinematics, recommended for implementation on versatile machine tools, are characterized. The example of the modernization of the gearbox with the replacement of splines and clutch couplings with profile joints, which ensures its high durability, is given.

Keywords: profile joints; drive unit; gearbox; torque; performance; scheme; treatment.

Fig. 6. Table 2. Ref.: 20 titles.

Введение. Профильными называются соединения, в которых крутящий момент передается посредством контактирующих некруглых цилиндрических или конических поверхностей. Профильные соединения могут быть сквозными или глухими, с гарантированным зазором или натягом, с переходными посадками [1—4].

Практически установлено, что применение ПС вместо шлицевых повышает надежность трансмиссий различных машин (строительных, дорожных, сельскохозяйственных и др.), кузнечно-прессового оборудования и металлорежущих станков, инструментальных систем и другой техники [2; 5]. Это обусловлено более высокой усталостной прочностью и несущей способностью ПС из-за меньшей концентрации напряжений [6], что позволяет

уменьшить габариты и металлоемкость изделий. Замена шлицевого соединения профильным позволяет (при тех же габаритных размерах корпуса изделия) увеличить передаваемую мощность, что важно при модернизации машин и механизмов для повышения их технических характеристик.

Существенным преимуществом ПС по сравнению со шлицевыми является также меньший уровень шума за счет самоцентрирования его деталей под действием передаваемой нагрузки, благодаря чему та же точность ПС обеспечивается при меньшей на 2 качества точности его деталей [2], что позволяет упростить технологию их изготовления.

Тенденция к расширению применения ПС в технике обусловлена также меньшей на 40...50 % стоимостью их изготовления по сравнению со шлицевыми [2], так как профильные поверхности можно обрабатывать теми же высокопроизводительными методами, что и круглые (точением, шлифованием, поверхностным пластическим деформированием и др.), и более простыми инструментами.

Несмотря на технологические и эксплуатационные преимущества, ПС в отечественном машиностроении применяются редко, в частности, из-за нерешенности задач научно-технического обеспечения их производства [7]. Учитывая высокую стоимость импортных станков для обработки деталей ПС, для единичного, мелкосерийного и ремонтного их производства актуальна разработка рациональных технологий обработки профильных моментопередающих поверхностей и средств их реализации на распространенном оборудовании иного технологического назначения [2; 7].

Высокие эксплуатационные характеристики и технологические преимущества ПС по сравнению со шлицевыми обуславливают перспективность их применения в высоконагруженных горных машинах и оборудовании [7], например, в приводах конвейеров, характерными для которых являются повышенные требования к надежности при тяжелых условиях эксплуатации.

Для обеспечения возможности применения профильных моментопередающих соединений при модернизации и проектировании трансмиссий машин необходимо решить научно-технические и организационные задачи, включающие: выбор рационального типа моментопередающих поверхностей и определение параметров ПС; обоснование методов обработки профильных поверхностей, реализуемых на универсальных станках или созданных на их основе специализированных станках; проектирование или модернизацию механизмов машин и оборудования с применением ПС; проектирование при необходимости инструментов с учетом геометрии деталей ПС и реализуемых методов обработки; оснащение производства ПС соответствующими средствами контроля и др.

Ниже рассмотрены рекомендуемые пути решения некоторых из этих задач.

Основная часть. Выбор типа и определение параметров профильных соединений.

Контурными линиями, ограничивающими профиль моментопередающего соединения, могут быть прямые линии, циклоидальные и синусоидальные кривые, линии равной ширины и иные, установленные соответствующими стандартами [8—10], руководящим документом РД 23.800.2.02-89 (рисунок 1) и практикой конструирования ПС.

Наиболее широкое применение в машиностроении получили цилиндрические и конические (рисунок 2, а) соединения с РК-3 профилем [8; 9], где буквы обозначают «равноосный контур», цифра — число выступов у профиля, и с циклоидальным четырехгранным профилем [10], геометрия которого исключает возможность заклинивания соединения и обеспечивает возможность относительного перемещения профильных вала и втулки под нагрузкой (см. рисунок 2, б). Профиль детали может быть ограничен также несколькими пересекающимися линиями одного или различных видов, например, K_c — профиль срезанный, образованный пересечением контурной линии и срезающей её вершины окружности.

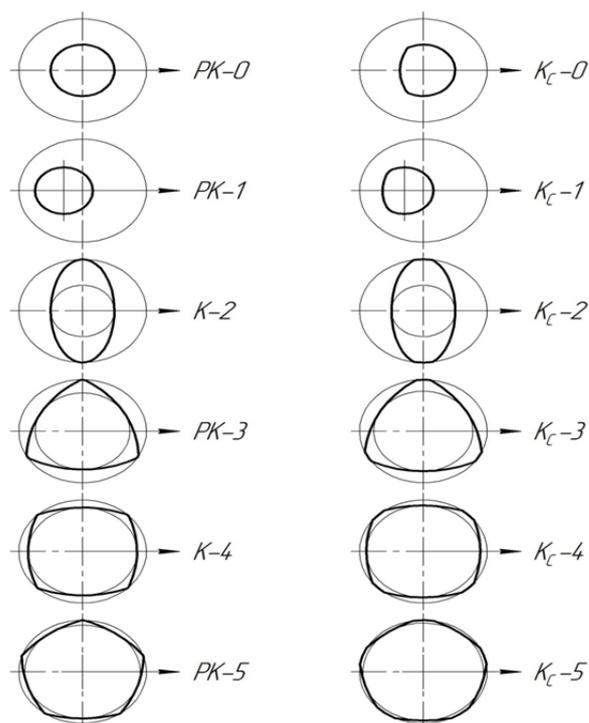


Рисунок 1. — Виды профильных соединений
(по РД23.800.2.02-89)

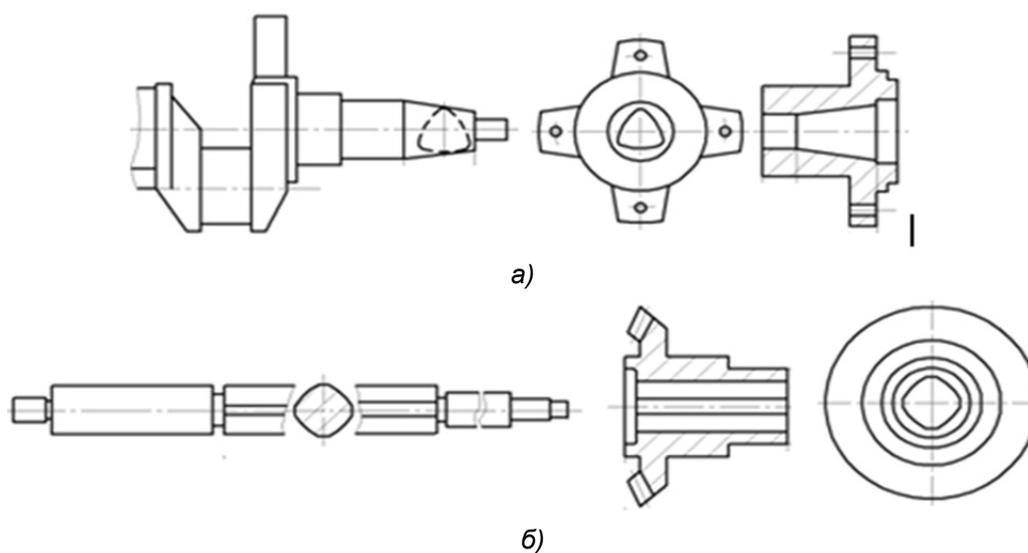


Рисунок 2. — Примеры профильных соединений: неподвижный конический с РК-3 профилем (а); подвижный четырехгранный (б)

Большинство исследований относится к проектированию и обработке поверхностей с равноосным РК-3 профилем [2; 3; 11—14]. Его основным технологическим достоинством является неизменность расстояния между двумя любыми параллельными касательными к нему, что позволяет использовать стандартные средства измерения линейных размеров — штангенциркули, микрометры, нутрометры и др. Однако дефицитность необходимого специального станочного оборудования и сложность модернизации универсальных станков сдер-

живают широкое применение такого профиля. В этой связи заслуживает внимания более технологичный синусоидальный профиль (например, типов СК-2, СК-3), схемы формирования которого и соответствующие станки существенно проще, чем для равноосного профиля.

Следует отметить, что поперечные сечения деталей с профилями типов РК-3 и СК-3 одного среднего диаметра практически не различаются по форме, площади, моменту инерции и, следовательно, по эксплуатационным характеристикам, поэтому выбор типа профиля во многом должен зависеть от имеющегося оборудования для обработки профильных деталей. Если для обработки деталей с РК-3 профилем требуются сложные по кинематике специальные станки, например, типа AFD фирмы Fortuna (Германия) [2], то обработка деталей с синусоидальным профилем возможна не только на специальных, но и на модернизированных универсальных токарных станках [7; 15—17], благодаря чему существенно сокращается стоимость изготовления ПС. В этой связи с точки зрения упрощения технологии и уменьшения стоимости изготовления ПС предпочтителен синусоидальный профиль.

Проектирование или модернизация объектов техники, оснащаемых ПС, связаны с определением их параметров. Для не срезанных некруглых профилей установлены следующие геометрические параметры (рисунок 3) [2; 6; 8—10]: диаметр вписанной окружности d , средний диаметр (радиус) D (R), диаметр описанной окружности D_0 , эксцентриситет профиля e , радиус-вектор ρ и угловой параметр профиля φ , количество граней (выступов) m . Для срезанных окружностью профилей задается также диаметр этой окружности. Стандартизованы параметры равноосных трехгранных и срезанных четырехгранных профилей [8—10].

Через D и e выражаются остальные параметры профиля: $d = D - 2e$, $D_0 = D + 2e$. Зависимость ρ от D , e , φ и m определяется видом контурной кривой [2]. Например, для синусоидального профиля

$$\rho = R - e \cos m \varphi. \quad (1)$$

Значение среднего диаметра D определяется расчетом и принимается в соответствии со стандартным рядом диаметров круглых цилиндрических соединений. Рекомендуемые допуски и посадки ПС находятся в широких пределах [2; 4]: для профильных валов — 6...9 квалитеты, для сопряженных с ними отверстий — 7...10 квалитеты, что позволяет окончательно обрабатывать детали ПС в зависимости от требований к их точности как абразивными, так и лезвийными инструментами, как и детали шлицевых соединений.

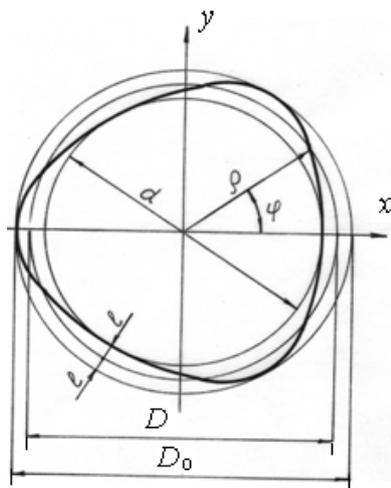


Рисунок — 3. Геометрические параметры трехгранной профильной поверхности

Требования к точности параметров ПС указываются в его обозначении, содержащем данные о виде контурной кривой, количестве граней, среднем диаметре, двойном эксцентриситете профиля и точности выполнения его параметров [2]. Например, запись СК-3-50 H7/g6/3.6H8/f7 [7] обозначает трехгранное профильное соединение с синусоидальным профилем, средний диаметр которого равен 50 мм, а двойной эксцентриситет $2e = 3,6$ мм, H7/g6 и H8/f7 определяют допуски на параметры D и $2e$ соответственно.

Значение эксцентриситета e задается из условия обеспечения выпуклости профиля поверхности во всех его точках.

По стандартам [8; 9] каждому значению диаметра D соответствует определенная величина e , что с технологической точки зрения нерационально из-за необходимости переналадки станка при любом изменении значения D . Поэтому из технологических соображений более предпочтителен принцип нормирования величины e , когда она постоянна при изменении параметра D в определенном диапазоне.

Благодаря этому сокращается количество перенастроек станка и имеется возможность применения групповой технологии для обработки профильных деталей.

Себестоимость изготовления деталей ПС существенно зависит от применяемых методов обработки и средств технологического оснащения, что обуславливает необходимость обоснования их выбора с учетом возможности применения из экономических соображений универсальных станков.

Методы обработки профильных поверхностей, реализуемые на универсальных станках. В зарубежной практике для обработки профильных валов применяются специальные токарные и шлифовальные станки, которые отечественной промышленностью не производятся, что требует разработки эффективных схем формообразования и средств их реализации на имеющихся станках иного технологического назначения. Рассмотрим решение этой задачи применительно к обработке синусоидальных поверхностей.

Некруглый профиль при обработке резанием технически просто может быть образован согласованными вращением заготовки 1 и возвратно-поступательным движением резца 2 (рисунок 4).

Форма профиля обработанной поверхности зависит от закона возвратно-поступательного перемещения резца. При гармоническом законе, создаваемом кривошипно-шатунным механизмом (см. рисунок 4, а) или кулачковым механизмом с плоским толкателем 4 и круглым кулачком 5, установленным с эксцентриситетом l относительно оси его вращения (см. рисунок 4, б), образуется синусоидальный профиль [7], описываемый уравнением (1). При иной форме кулачка 5 можно обрабатывать некруглые поверхности с различным профилем.

Преимуществом обеих схем является возможность обработки на одном станке как наружных, так и внутренних поверхностей, т. е. деталей типа валов и втулок, что важно при мелкосерийном и индивидуальном производстве ПС для сокращения номенклатуры необходимого станочного оборудования. Схемы обработки синусоидальных поверхностей реализуются на специальных, модернизированных, универсальных токарных [16; 17] и токарно-затыловочных [15] станках.

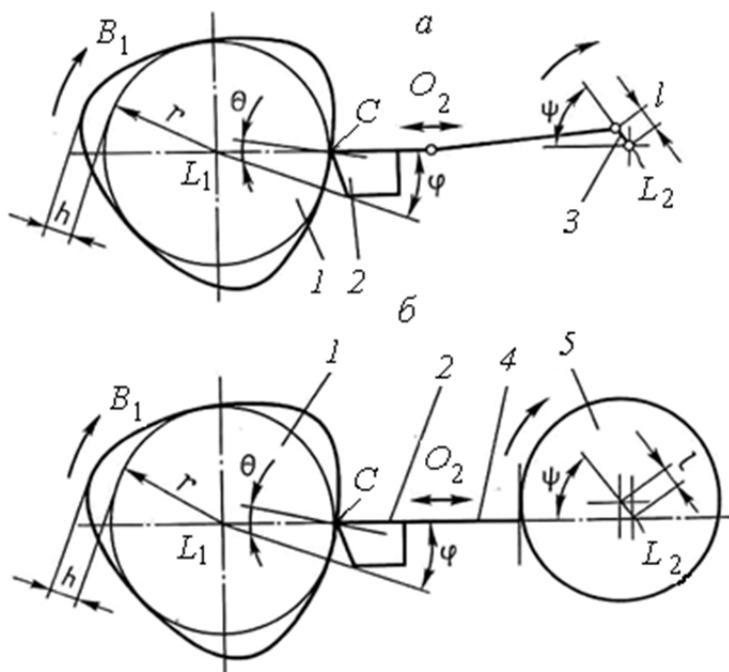


Рисунок 4. — Схемы образования некруглого профиля кривошипно-шатунным (а) и кулачковым (б) механизмами-построителями

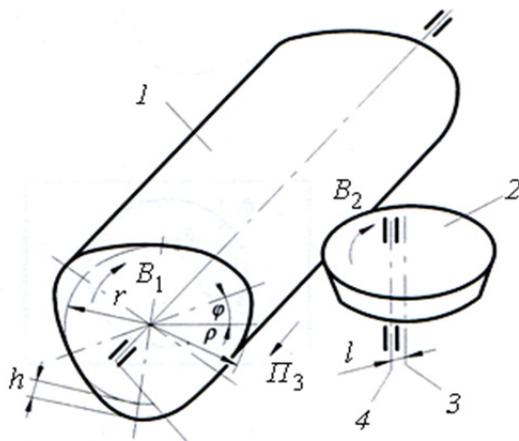


Рисунок 5. — Схема ротационного точения синусоидальной поверхности круглым эксцентрично установленным резцом

Лучшие динамические условия работы и более высокая производительность обеспечиваются при профилировании некруглой поверхности согласованными вращательными движениями инструмента и заготовки. К ним относится способ ротационного точения [18], по которому синусоидальная поверхность 1 (рисунок 5) формируется круглым резцом 2, геометрическая ось 3 которого установлена с эксцентриситетом l относительно оси 4 его вращения. Профиль обработанной поверхности описывается уравнением (1).

В процессе обработки заготовке и резцу сообщают взаимосвязанные вращательные движения B_1 и B_2 , а также относительное движение подачи Π_3 . При обработке синусоидальных цилиндрических поверхностей отношение i частот движений B_2 и B_1 заготовки задают равным числу m выступов профиля, а при обработке синусоидальных винтовых поверхностей — не равным этому числу. Благодаря отсутствию реверсивного движения поперечного суппорта станка устраняются факторы, ограничивающие производительность обработки осциллирующим призматическим резцом.

Ротационное точение синусоидальных поверхностей реализуется на любом шлицефрезерном станке без его модернизации. Важно и то, что радиус резца, изменяющийся при его переточке, не влияет на профиль обработанной поверхности, благодаря чему обеспечиваются высокая точность ее формообразования и долговечность инструмента.

Заслуживают внимания основанные на согласованных вращательных движениях заготовки и инструмента схемы обработки профильных поверхностей (таблица 1) резцовой головкой (схема 1), дисковой эксцентрично установленной фрезой или шевером (схема 2), цилиндрической эксцентрично установленной фрезой или шевером (схема 3) [19].

Схемы 1 и 2 предназначены для обработки открытых и полуоткрытых некруглых поверхностей, схема 3 — открытых поверхностей. Уравнения формируемых профилей приведены в таблице 1.

В зависимости от отношения частот вращения заготовки и резцовой головки, а также числа резцов в ней по схеме 1 обеспечивается обработка циклоидальных многогранных поверхностей с вогнутыми, выпуклыми или приближающимися к плоским гранями.

Отличительной особенностью схем 2 и 3 является эксцентричная установка круглого многолезвийного режущего инструмента относительно оси его вращения, обеспечивающая конструктивную подачу режущих лезвий в радиальном направлении, что упрощает кинематику и настройку станка и позволяет реализовать эти схемы обработки на разных универсальных станках с согласованными вращательными движениями инструмента и заготовки.

Отношение частот этих движений настраивают равным числу граней формируемой поверхности, поэтому за каждый оборот инструмента обрабатывается одна из граней, что обеспечивает их идентичность и высокую точность углового расположения по сравнению с обработкой некруглой фрезой [13].

Следует отметить, что по сравнению с точением круглых поверхностей при профильном точении непрерывно изменяются передний и задний рабочие углы резца на величину θ (см. рисунок 4), значение которой зависит от геометрии профиля [17]. В этой связи при проектировании инструмента необходимо рассчитать максимальное значение угла θ для конкретных параметров профиля формируемой поверхности, с учетом которого определить значение статических углов режущего лезвия.

Существенным недостатком рассмотренных схем является то, что из-за неблагоприятных динамических условий работы механизма профилирования частота вращения заготовки практически не превышает 100 мин^{-1} , что ограничивает производительность станка.

Т а б л и ц а 1. — Рациональные схемы формообразования профильных поверхностей резанием

Номер схемы	Схема обработки	Схема профилирования	Уравнения профиля
1			$\begin{cases} x = l \cos \alpha - R \cos(\beta - \alpha) \\ y = l \sin \alpha - R \sin(\beta - \alpha) \end{cases}$ $l = R + r$
2			$F(x, y, \alpha) = 0$ $\frac{\partial F(x, y, \alpha)}{\partial \alpha} = 0$
3			$\rho = \frac{r_0 - l \cos m\varphi}{\arctg \frac{ml \sin m\varphi}{r_0 - l \cos m\varphi}}$ $r_0 = r + l$

При этом форма профиля обработанной поверхности обеспечивается за счет настройки величины эксцентриситета e установки инструмента относительно оси его вращения.

По сравнению с обработкой резцовой головкой по схеме 1 за счет большего числа режущих зубьев многократно сокращается время перерывов в резании и, соответственно, повышается производительность обработки.

При обработке по схеме 3 эксцентрично установленной цилиндрической фрезой профиль некруглой поверхности формируется в виде огибающей множества прямых, максимальное число которых равно числу режущих зубьев фрезы, участвующих в профилировании одной грани. Поэтому профиль некруглой поверхности не зависит от диаметра фрезы, что является преимуществом данной схемы по сравнению с обработкой по схемам 1 и 2 резцовой головкой и дисковой фрезой соответственно. Благодаря этому возможна обработка по общей схеме формообразования профильной поверхности последовательно несколькими разными инструментами (фрезой, шевером, инструментом для опилования или поверхностного пластического деформирования).

Обработка профильных поверхностей по рассмотренным трем схемам возможна на станке модели ВС-50 производства Витебского станкостроительного завода «Вистан» (Витебск), а по схеме 3 — на шлицефрезерном станке без его модернизации.

При изготовлении ПС важно также использовать эффективные методы обработки профильных отверстий. В зависимости от типа производства, размеров детали, предъявляемых требований к точности и шероховатости обработки и имеющегося оборудования профильное отверстие может быть обработано значительно большим количеством методов

по сравнению с обработкой шлицевых отверстий: протягиванием, растачиванием, фрезерованием концевой фрезой на копировальном станке или станке с числовым программным управлением (ЧПУ), шлифованием на координатно-шлифовальном станке с ЧПУ, поверхностным пластическим деформированием, электроэрозионной обработкой проволочным электродом на станках с ЧПУ, электрохимической размерной обработкой и др. Следует отметить, что конструкция протяжки для обработки профильных отверстий существенно проще, чем шлицевых.

Контроль деталей профильного соединения производится универсальными и специальными средствами [2; 7; 12]. В общем случае контролируются диаметральные размеры, эксцентриситет e профиля и форма контурной кривой (радиус-вектор профиля ρ). Для контроля диаметров вписанной и описанной окружностей, а также эксцентриситета применяют микрометрические или индикаторные измерительные приспособления с базированием контролируемых деталей по вершинам выступов или впадинам. При серийном производстве целесообразно использовать комплексные проходные калибры, а для поэлементного контроля — предельные калибры и измерительные приборы. Универсальным, наиболее полным и точным является контроль профильных деталей на координатно-измерительной машине.

Рассмотрим пример применения ПС при модернизации редуктора.

Объектом модернизации является редуктор отбора мощности погрузчика ТО-18Б производства Минского завода «Ударник» (Минск) [20]. В серийном исполнении он имеет шлицевые соединения между ступицей 1 (рисунок 6) и валом I, шестерней z_1 и валом I, зубчатой муфтой 4 и полумуфтами 2, 3, валом-шестерней II и втулкой 5. При модернизации редуктора решены задачи выбора геометрии профильных соединений, определения их размеров, допусков и посадок, разработки и реализации технологии изготовления деталей.

В модернизированном редукторе применены моментопередающие соединения с синусоидальным профилем СК-3 между всеми указанными деталями за исключением муфты 4, в которой полумуфты 2 и 3 имеют СК-2 профиль и повернуты относительно друг друга на 90° для компенсации несоосности и непараллельности соединяемых валов.

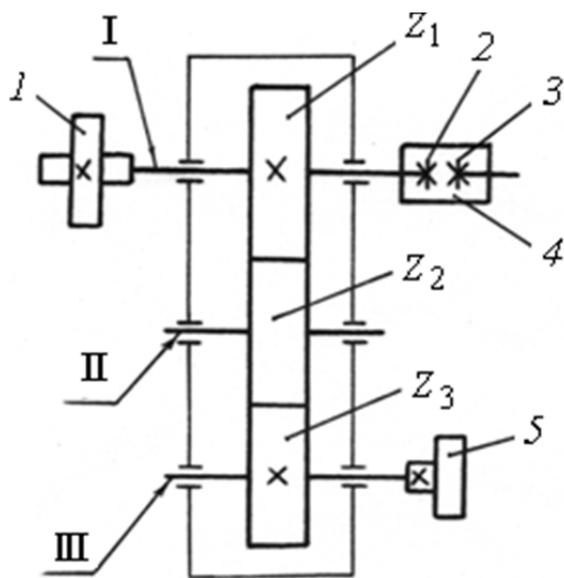


Рисунок 6. — Кинематическая схема модернизированного редуктора

Параметры моментопередающих соединений редуктора отбора мощности до и после его модернизации приведены в таблице 2.

Размер D профильных соединений установлен на основе прочностных расчетов и условий сборки редуктора. Следует отметить, что модернизация выполнена без изменения конструкции корпуса редуктора с сохранением тех же подшипников.

Все наружные и внутренние профильные поверхности деталей редуктора обработаны на токарно-затыловочном станке 1Б811.

Опыт эксплуатации погрузчика ТО-18Б с модернизированным редуктором отбора мощности на «Борисовском заводе «Автогидроусилитель»» свидетельствует об эффективности применения профильных моментопередающих соединений вместо шлицевых для повышения долговечности трансмиссий машин.

Т а б л и ц а 2. — Параметры моментопередающих соединений модернизируемого редуктора

Соединяемые детали (см. рисунок 6)	Параметры соединений до модернизации	Параметры соединений после модернизации
I—1	Эв. 60 × 3,5 11H / 10d	СК-3-56 H9 e8 / 4,0 H10 e9
I—Z ₁	D8 × 62 × 72 Js10/e8 × 12 F10 / d10	СК-3-70 H9 e8 / 4,8 H10 e9
I(2)—4	Эв. 60 × 3,5 11H / 10d	СК-2-55 H9 e8 / 6,0 H10 e9
4—3	Эв. 60×3,5 11H / 10d	СК-2-55 H9 e8 / 6,0 H10 e9
III—5	D8 × 46 × 54 Js10 / e8 × 9 F10 / d10	СК-3-50 H9 e8 / 4,0 H10 e9

Заключение. Эксплуатационные и технико-экономические преимущества профильных моментопередающих соединений в виде более высокой долговечности и меньшей стоимости изготовления обуславливают целесообразность их применения в тяжелонагруженных приводах ленточных конвейеров горной промышленности.

Применение в профильных соединениях синусоидального профиля вместо равноосного профиля позволяет существенно упростить технологию их изготовления благодаря возможности применения универсальных станков для профильного точения и модернизированных станков иного технологического назначения.

Опыт эксплуатации модернизированного редуктора с профильными моментопередающими соединениями вместо шлицевых свидетельствует о перспективности их применения для повышения надежности приводов конвейеров.

Список цитируемых источников

1. Борович, Л. С. Бесшпоночные соединения деталей машин / Л. С. Борович. — М. : Машгиз, 1951. — 132 с.
2. Тимченко, А. И. Процессы формообразования профильных поверхностей изделий с равноосным контуром : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.08 / А. И. Тимченко. — М., 1993. — 41 с.
3. Рожкова, Е. А. Теория и методы проектирования профильных неподвижных неразборных соединений с равноосным контуром с натягом : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.02 / Е. А. Рожкова ; Забайк. ин-т ж.-д. трансп. — Чита, 2014. — 20 с.
4. Урин, А. М. Назначение допусков и посадок РК-профильных соединений / А. М. Урин // СТИН. — 1993. — № 6. — С. 13—14.
5. Модульная инструментальная система [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://mtools.narod.ru/an/sc.htm>. — Дата доступа: 14.02.2020.
6. Grossmann, Christoph. Fretting Fatigue of Shape Optimized Polygon-Shaft-Hub Connections / Christoph Grossmann. — Berlin, 2007. — 156 p.
7. Данилов, В. А. Научно-техническое обеспечение применения профильных моментопередающих соединений в горных машинах и оборудовании / В. А. Данилов, В. Я. Прушак // Горная механика : междунар. науч.-техн. журн. — 2009. — № 2. — С. 5—13.
8. Соединения профильные. Уравнения контурных кривых соединений, типы и основные размеры : ОСТ 92-4742-86 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://92.243.65.78/techdocs/kgs/ost/0/?page=2116>. — Дата доступа: 14.02.2020.
9. DIN 32711-79. Antriebselemente Polygonprofile P3G [Elektronische Ressourcen]. — Berlin : Beuth, 1979. — 3 S. — Zugriffsmodus: <https://www.beuth.de/de/norm/din-32711/658128>. — Zugriffsdatum: 17.02.2020.
10. DIN 32712-79. Antriebselemente Polygonprofile P4G. [Elektronische Ressourcen]. — Berlin : Beuth, 1979. — 3 S. — Zugriffsmodus: <https://www.beuth.de/de/norm/din-32711/658128>. — Zugriffsdatum: 17.02.2020.
11. Волковский, С. В. Повышение эффективности формообразования равноосноконтурных поверхностей посредством создания режущего инструмента, реализующего метод огибания : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / С. В. Волковский. — Хабаровск, 2002. — 218 л.

12. *Зенин, Н. В.* Технологическое обеспечение качества трехгранного профиля бесшпоночных соединений в условиях серийного производства : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Н. В. Зенин ; МВТУ им. Н. Э. Баумана. — М., 2007. — 132 с.

13. *Максименко, Ю. А.* Создание метода проектирования дисковых фрез с конструктивным исполнением радиальной подачи для обработки валов с РК и К-профилем : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.07 / Ю. А. Максименко ; Юго-зап. гос. ун-т. — Курск, 2014. — 20 с.

14. *Шитиков, А. Н.* Проектирование сборных фрез для обработки наружного РК-профиля : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.07 / А. Н. Шитиков ; Тул. гос. ун-т. — Тула, 2007. — 20 с.

15. *Данилов, В. А.* Технология производства и ремонта горных машин и оборудования : в 2 т. / В. А. Данилов, В. Я. Прушак, Е. М. Найденышев ; под общ. ред. д-ра техн. наук В. Я. Щербы. — Т. 1 : Производство горных машин. — Минск : Тэхналогія, 2007. — 486 с.

16. *Синкевич, В. М.* Исследование технологии изготовления профильных бесшпоночных соединений узлов судовых механизмов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / В. М. Синкевич ; Ленингр. кораблестр. ин-т. — Л., 1985. — 21 с.

17. *Ворона, В. В.* Расчет оснастки и операции токарной обработки синусоидальных цилиндрических поверхностей : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / В. В. Ворона ; Юго-Зап. гос. ун-т. — Курск, 2008. — 202 л.

18. *Данилов, В. А.* Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием / В. А. Данилов. — Минск : Наука и техника, 1995. — 264 с.

19. DE 3826159A1 ФРГ, МКИ5 В23С3/24. Verfahren und Werkzeugmaschine zur Bearbeitung gekrümmten Oberflächen : заявка / V. A. Danilov (СССР) ; Novopol. politechn. in-t. — № 3826159.6 ; заявл. 01.08.88; опубл. 08.02.90.

20. *Данилов, В. А.* Конструкторско-технологическое обеспечение применения профильных моментопередающих соединений в трансмиссиях машин / В. А. Данилов, А. И. Костюченко, С. В. Спиридонов // Машиностроение : сб. науч. тр. Вып. 17 / под ред. И. П. Филонова. — Минск : Технопринт, 2001. — С. 209—214.

Поступила в редакцию 05.05.2020