

9. Пантелеенко, Ф. И. Классификация методов формообразования и синтез на ее основе схем обработки профильных моментопередающих поверхностей / Ф. И. Пантелеенко, А. А. Данилов // Наука и техника. – 2020. – №4. – С. 280–287.

10. Способ точения из заготовки некруглого вала с сечением в виде равномерно расположенных по окружности выступов: пат. ВУ 21958 / А. А. Данилов, В. А. Данилов. – Оpubл. 28.02.2018.

11. Способ обработки некруглых деталей с равномерно расположенными по окружности выступами: Евразийский патент № 034377 / А. А. Данилов, В. А. Данилов. – Оpubл. 31.01.2020.

12. Способ обработки некруглых деталей с треугольным профилем равной ширины: Евразийский патент 031383 / А. А. Данилов, В. А. Данилов. – Оpubл. 28.12.2018.

13. Способ получения детали с сечением в виде треугольника Рело из заготовки лезвийным режущим инструментом пат. ВУ 22235 / А. А. Данилов, В. А. Данилов. – Оpubл. 30.04.2018.

14. Данилов, А. А. Анализ и реализация схем полигонального точения многогранных поверхностей / А.А. Данилов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. – Промышленность. Прикладные науки. – 2016. – № 11, с. 19–27.

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

16. Пантелеенко, Ф. И. Обработка моментопередающих поверхностей с профилем в виде треугольника Рело на зубодолбежном станке / Ф. И. Пантелеенко, А. А. Данилов, И. К. Карась // Горная механика и машиностроение. – 2018. – № 4. – С. 59–65.

17. Шитиков, А.Н. Проектирование сборных фрез для обработки наружного РК-профиля: автореферат дис. ... к.т.н. 05.02.07 / А. Н. Шитиков; Тульск. госунар. ун-т. – Тула, 2007. – 20 с.

18. 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-западн. госуд. ун-т. – Курск, 2014. – 20 с.

19. 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 с.

20. 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.

Поступила 14.04.2020

УДК 621. 91. 01

Данилов В.А.¹, Селицкий А.Н.²

СТАНОЧНОЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РОТАЦИОННОГО ТОЧЕНИЯ СИНУСОИДАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

1. Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

2. Полоцкий государственный университет

Новополоцк, Беларусь

Обоснована возможность обработки синусоидальных цилиндрических поверхностей на универсальных зубошлицефрезерных станках эксцентрично установленным круглым резцом. Определены требования к кинематической структуре специализированных станков для ротационного точения таких поверхностей. Рассмотрена пред-

ложенная структурная схема такого станка для комплексной обработки деталей с синусоидальными и круглыми поверхностями. Представлены конструкции разработанных инструментов для ротационного точения синусоидальных поверхностей с разными по универсальности устройствами для настройки эксцентриситета установки реза.

Ключевые слова: синусоидальная поверхность, ротационное точение, ротационный инструмент, металлорежущие станки.

Введение. В машиностроении кроме традиционных шлицевых и шпоночных соединений применяются профильные соединения, что обусловлено их эксплуатационными и технологическими преимуществами: обладают свойством самоцентрирования; выше усталостная прочность; меньше нагрев, износ и уровень шума; более высокая долговечность при меньшей себестоимости изготовления [1].

Чаще применяются профильные соединения с равноосным контуром (РК – профиль) [1], обработка деталей которых производится на сложных и дорогостоящих станках-профиляторах, основанных, например, на сообщении заготовке вращения, а вращающемуся режущему инструменту двух согласованных возвратно-поступательных движений во взаимно-перпендикулярных плоскостях [2]. Заслуживает внимания близкий по геометрии к РК-профилю синусоидальный (СК – профиль). Сопряженные наружные и внутренние поверхности деталей с таким профилем могут быть получены на менее сложных по конструкции станках.

Применение профильных соединений в отечественном машиностроении сдерживается нерешенностью теоретических и конструкторско-технологических задач создания специального инструментального обеспечения и станочного оборудования, разработки технологий изготовления деталей профильных соединений, что свидетельствует об актуальности исследований в этом направлении.

Создание инструментов для ротационного точения синусоидальных поверхностей. Для ротационного точения синусоидальных цилиндрических поверхностей эксцентрично установленным круглым резцом разработана инструментальная наладка (рис. 1, а).

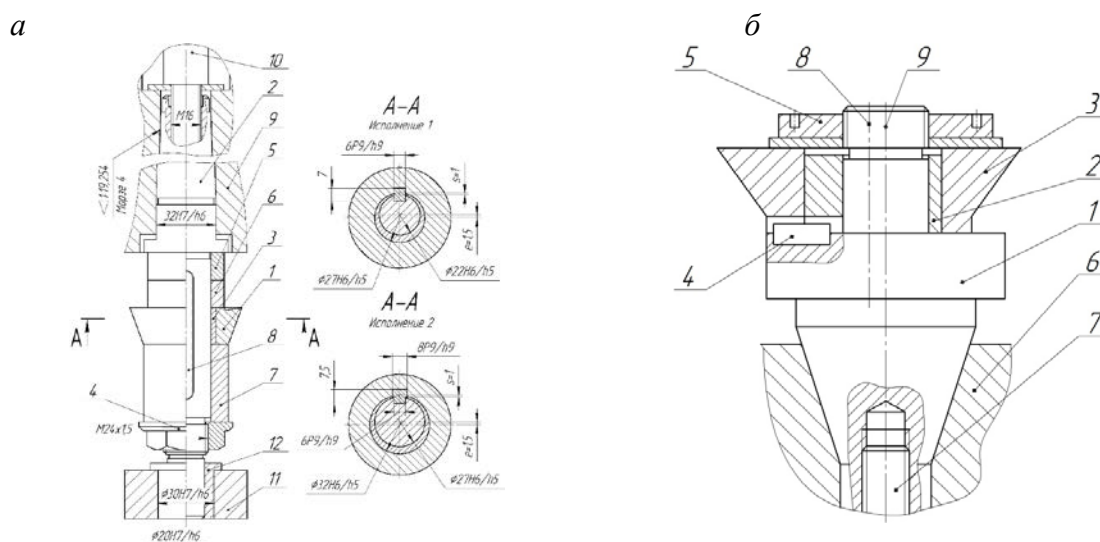


Рис. 1. Инструменты для обработки синусоидальных поверхностей:
 а – инструментальная наладка; б – ротационный инструмент с эксцентрично установленным резцом

Круглый резец 1 установлен на оправке 2 через сменную переходную втулку 3, выполненную с требуемым эксцентриситетом e его установки. Резец крепится на оправке гайкой 4 через дистанционные втулки 5–7. Крутящий момент передается ему посредством шпонки 8, её высота зависит от эксцентриситета установки резца (рис. 1, а, исполнение 1). При различной ширине шпоночного паза в оправке и резце применяется ступенчатая шпонка (рис. 1, а, исполнение 2). Оправка 2 устанавливается в шпинделе 9 станка и втулке 12 контрподдержки 11 и крепится шомполом 10.

Во втором варианте конструкции ротационного инструмента (рис. 1, б) [3], на оправке 1 установлена сменная переходная втулка 2, несущая круглый резец 3. Фиксация положения резца 3 и втулки 2 относительно оправки 1 обеспечивается торцевой призматической шпонкой 4, а их крепление на оправке 1 – гайкой 5. Оправка 1 крепится неподвижно в шпинделе 6 станка.

Для формирования синусоидальных цилиндрических поверхностей наружная поверхность переходной втулки 2 расположена эксцентрично относительно ее внутренней поверхности, поэтому геометрическая ось 8 круглого резца 3 не совпадает с осью 9 оправки 1. При ее вращении совместно со шпинделем 6 станка непрерывно изменяется расстояние от оси вращения до круговой режущей кромки резца 3, благодаря чему обеспечивается обработка профильной поверхности. Наличие шпонки 4 для фиксации углового положения относительно оправки 1 одновременно круглого резца 3 и переходной втулки 2 обеспечивает надежность ротационного инструмента.

Применением переходных втулок с различной эксцентricностью расположения наружной и внутренней поверхности достигается широкая универсальность инструмента по форме обрабатываемых поверхностей, одно требуется соответствующее количество втулок. Этот недостаток устраняется при применении двух эксцентричных втулок 1, 2 (рис. 2), которые выполнены с эксцентриситетами e_1 и e_2 , соответственно, имеют по шесть шпоночных пазов и сопрягаются по диаметрам D_1, d_2 .

Совмещением шпоночных пазов втулок, например 1_2 и 2_1 (рис. 2, б), обеспечивается ступенчатое изменение эксцентриситета e , который определяется по зависимости:

$$e = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 - 2e_1e_2 \cos \phi},$$

где ϕ – угол поворота одной втулки относительно второй.

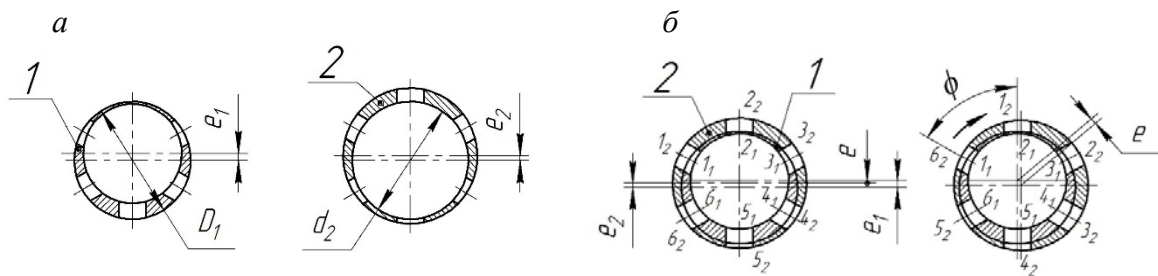


Рис. 2. Конструкция эксцентричных втулок для настройки эксцентриситета установки резца

Предложенные конструкции инструментов предпочтительны в условиях единичного и ремонтного производства.

При обработке в условиях серийного производства различных валов с синусоидальным профилем, имеющих одинаковый эксцентриситет e , целесообразно применение специальных оправок, выполненных со смещением e оси посадочной поверхности

ротационного резца относительно оси вращения оправки. В этом случае, благодаря минимальному количеству сопрягаемых деталей, обеспечивается более высокая жесткость инструментальной наладки, что способствует увеличению обработки и улучшению качества обработанной поверхности.

Оборудование для ротационного точения синусоидальных поверхностей. Для эффективной обработки поверхностей с периодически повторяющимся профилем предназначены специальные станки [2], работающие по методу прямого копирования, например токарно-гидрокопировальные станки фирм SCHERER, BOEHRINGER. В условиях серийного производства профильных соединений рекомендуется использовать схемы обработки профильных поверхностей, реализуемые универсальным станочным оборудованием [4].

Эффективным типом станочного оборудования для обработки профильных поверхностей являются, как показывает опыт эксплуатации станков – профиляторов немецких фирм WERA, FORTUNA, MANURHIN и др. [1], станки, работающие по методу кинематического профилирования. Современные станки токарной и фрезерной групп с ЧПУ, позволяют получать профильные в поперечном сечении детали разнообразной геометрии, например, фрезерованием пальцевыми фрезами [5]. Однако высокая стоимость данного типа оборудования ограничивает возможность его применения в отечественной промышленности, что обуславливает актуальность создания собственных станков и их инструментального оснащения, реализующих прогрессивные процессы формообразования профильных поверхностей.

В зависимости от реализуемых схем обработки известные станки для обработки профильных цилиндрических поверхностей можно отнести к четырем типам [4]: с вращательным движением шпинделя с заготовкой и осциллирующим или качательным движением инструмента; с планетарным движением заготовки; с планетарным движением инструмента; с вращательными движениями инструмента и заготовки. Станки последнего типа благодаря рациональной кинематике обладают более широкими технологическими возможностями при высокой производительности, поэтому промышленная реализация процессов формообразования профильных поверхностей ориентирована на создание станков данного типа. Решение этой задачи возможно по следующим направлениям: проектирование специального оборудования с необходимым инструментальным оснащением; расширение технологических возможностей близких по кинематической структуре универсальных станков за счет обеспечения необходимых параметров настройки и оснащения их сменными обрабатывающими модулями; создание специальных станков на базе универсальных.

Исходя из схем обработки профильных поверхностей [6], кинематическая структура станка с вращательными движениями инструмента и заготовки должна содержать: сложную кинематическую группу движения резания; простую или сложную группу движения подачи; группы движений установки и вспомогательных перемещений исполнительных органов. Подобную кинематическую структуру имеют зубофрезерные, зубодолбежные и резьбошлицефрезерные станки, что позволяет использовать их для обработки валов с синусоидальным профилем.

Таким образом, внедрение технологий обработки деталей профильных соединений в отечественном машиностроении целесообразно проводить за счет расширения технологических возможностей универсального оборудования, используя при этом простую конструкцию режущего инструмента.

Из отечественных станков данного типа рекомендуется широкоуниверсальный зубошлицефрезерный станок модели ВС-50 производства ОАО «Вистан» [7], кинематика которого обеспечивает согласование вращательных движений инструментального

шпинделя и шпинделя изделия, необходимое для формирования эксцентрично установленным круглым резцом синусоидального профиля с любым числом сторон.

Недостатком станка ВС-50 является сложность конструкции шпиндельного узла, который содержит два коаксиально расположенных шпинделя, что снижает его жёсткость. Поэтому в конструкции специального станка для обработки профильных поверхностей [8] по сравнению со станком ВС-50 вместо двух коаксиально расположенных шпинделей предусмотрен один шпиндель и две кинематические цепи передачи ему вращения, в зависимости от типа обрабатываемой детали.

Разработанный ротационный инструмент (см. рис. 1) нашел применение на резьбошлицефрезерном станке фирмы «HECKERT» модели GFLV-250 (рис. 3). За счет соответствующей настройки его кинематика позволяет обрабатывать ротационным точением трех и четырехгранные синусоидальные поверхности. Профилирование синусоидальной поверхности осуществляется движением $\Phi_U(B_1B_2)$, которое настраивается на траекторию и скорость резания органами i_x и i_U , соответственно. Настраиваемая кинематическая цепь внутренней связи $3 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow \Sigma \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow R_1 \rightarrow i_x \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9$ обеспечивает требуемое согласование движений B_1 и B_2 .

Направляющая формируемой поверхности (прямая линия) воспроизводится простой группой движения подачи $\Phi_5(\Pi_3)$. Ее внутренняя связь – поступательная пара: инструментальный суппорт → направляющие станины. Внешняя связь содержит кинематическую цепь: $10 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow i_s \rightarrow 13 \rightarrow R_2 \rightarrow 14 \rightarrow 15 \rightarrow 16$. Движение настраивается на скорость подачи органом настройки i_s , на путь и исходную точку упорами системы управления.

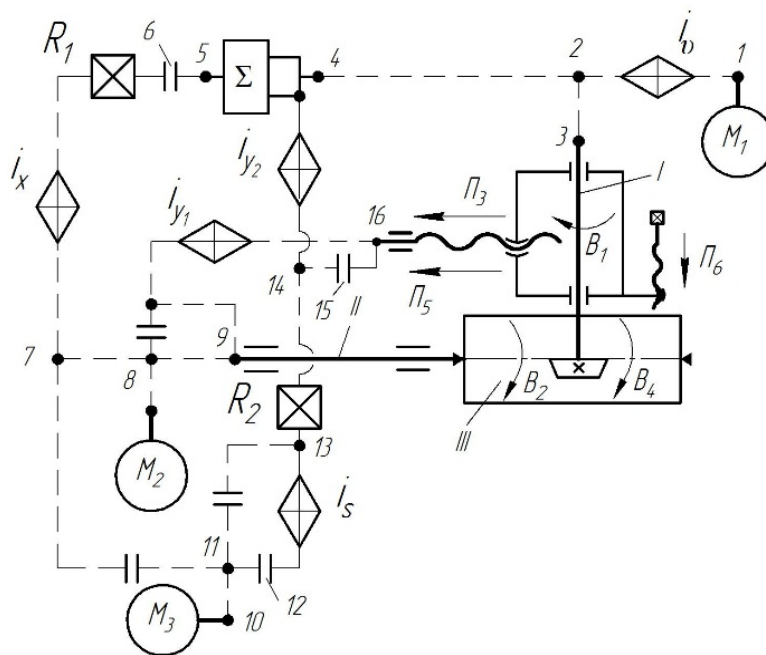


Рис. 3. Структурная схема станка модели HECKERT GFLV-250

Повышение производительности ротационного точения синусоидальных поверхностей обеспечивается при применении специального станка (рис. 4) [9].

Станок имеет: шпиндель 1, несущий обрабатываемое изделие 2; инструментальный шпиндель 3 с неподвижно закрепленным на нем круглым ротационным резцом 4; продольный 5 и поперечный 6 суппорты и установленную на поперечном суппорте 6 обойму 7.

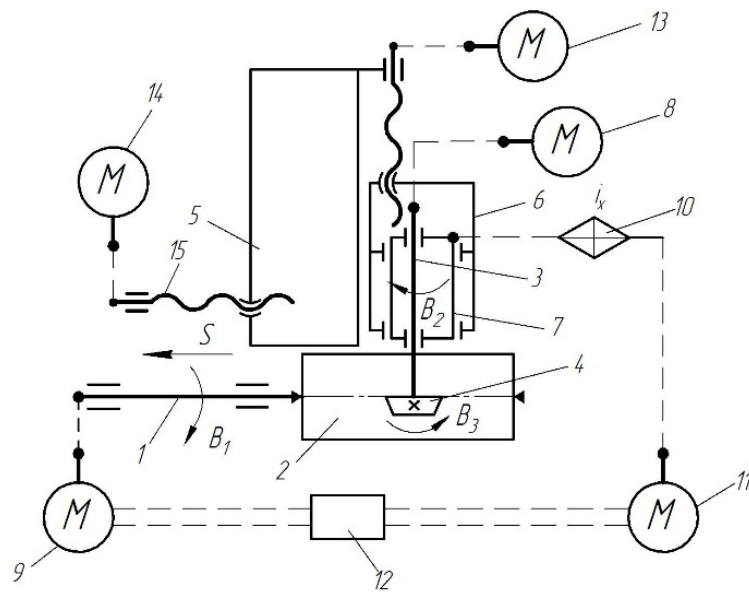


Рис. 4. Структурная схема станка для точения профильных валов

Инструментальный шпиндель 3 установлен в обойме 7 эксцентрично с возможностью вращения и настройки требуемого значения эксцентриситета – расстояния между осями вращения обоймы и инструментального шпинделя. Инструментальный шпиндель снабжен индивидуальным регулируемым двигателем 8.

Шпиндель 1 соединен с регулируемым синхронным электродвигателем 9, а обойма 7 кинематически связана через гитару сменных зубчатых колес 10 с регулируемым синхронным электродвигателем 11.

Электродвигатели 9 и 11 подключены к общему источнику питания 12 (регулируемому преобразователю частоты переменного тока). Благодаря тому, что оба электродвигателя синхронные, обеспечивается синхронизация вращательных движений шпинделя 1 и обоймы 7 без механической связи между ними, что существенно упрощает конструкцию станка.

Поперечный суппорт 6 снабжен приводом 13 его перемещения и установлен на продольном суппорте 6, снабженным приводом 14 его перемещения.

Точение профильных деталей с криволинейными поперечными сечениями, имеющими равномерно расположенные выступы, осуществляется круглым резцом 4. Для обработки различных деталей используется один резец, что повышает универсальность станка.

Инструментальный шпиндель установлен в обойме 5 с эксцентриситетом, величина которого задается в два раза меньше высоты выступов у обработанной детали. Орган 10 настраивается так, чтобы отношение частот вращения обоймы 7 и шпинделя 1 было равно количеству выступов. При точении круглых цилиндрических поверхностей эксцентриситет настраивается равным нулю.

При сообщении инструментальному шпинделю 3 с резцом 4 от привода 8 вращательного движения B_3 , противоположного по направлению вращению B_2 , окружная

скорость реза 4 не зависит от частоты движения B_2 и поэтому может быть настроена оптимальной при любой форме обработанной поверхности, что обеспечивает благоприятные условия резания. Благодаря этому существенно расширяются технологические возможности станка.

В процессе обработки движение профилирования $\Phi_v(B_1B_2)$ воспроизводит образующую формируемой поверхности (синусоидальный профиль), а движение $\Phi_s(P_4)$ – направляющую (прямую линию, параллельную оси заготовки). Вращательное движение B_2 из-за несовпадения геометрической оси реза с его осью вращения, следует рассматривать как поступательное P_2 , задающее радиальное перемещение режущего лезвия, необходимое для формирования некруглого профиля.

Внутренняя связь группы движения профилирования содержит кинематическую цепь $7 \rightarrow 10(i_x) \rightarrow M_{11} \rightarrow 12 \rightarrow M_9 \rightarrow 1$, органом i_x которой движение настраивается на траекторию. Скорость движения задается регулируемым электродвигателем M_8 .

Станок обеспечивает комплексную обработку детали с круглыми и синусоидальными цилиндрическими поверхностями.

Заключение

1. Обработка синусоидальных цилиндрических поверхностей ротационным точением возможна на универсальных зубошлифрезерных и резбошлифрезерных станках без их модернизации при создании соответствующего инструментального обеспечения.

2. Разработаны режущие инструменты для реализации на этих станках способа обработки синусоидальных цилиндрических поверхностей эксцентрично установленным круглым резцом.

3. Установлены требования к кинематике станков, обеспечивающей возможность обработки синусоидальных цилиндрических поверхностей по схеме с согласованными вращательными движениями инструмента и заготовки. Выполнен анализ кинематической структуры станка этого типа, на котором реализован способ ротационного точения синусоидальных цилиндрических поверхностей созданным инструментом.

4. Предложена структурная схема станка для комплексной обработки деталей с круглыми и синусоидальными поверхностями ротационными инструментами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимченко, А. И. Процессы формообразования профильных поверхностей изделий с равноосным контуром: Автореф. дис. ... д.ратехн. наук: 05.02.08 / Мосстанкин. – М., 1993. – 41 с.
2. Чарнко, Д. В. Профильные соединения валов и втулок в машиностроении / Д. В. Чарнко, А. И. Тимченко // Вестн. машиностроения. 1981. – № 1. – С. 33–35.
3. Ротационный инструмент: полез. модель ВУ4541/ В. А. Данилов, А. Н. Селицкий; УО «Полоцкий государственный университет». Заявл. 2008.01.08. № u20080005.
4. Анализ и реализация схем формообразования поверхностей с синусоидальным профилем / В. А. Данилов, А. И. Костюченко, А. Н. Селицкий // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В. Прикладные науки. – 2008. – № 2. – С. 30–37.
5. Зенин, Н. В. Технологическое обеспечение качества трехгранного профиля бесшпуночных соединений в условиях серийного производства : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Н. В. Зенин. – М., 2007. – 132 с.
6. Данилов, В. А. Анализ и реализация схем обработки профильных цилиндрических поверхностей ротационным инструментом / В. А. Данилов, А. Н. Селицкий // Горная механика и машиностроение: международный научно-технический журнал. – 2012. – № 4. – С. – 71–82.
7. Конструирование и оснащение технологических комплексов / А.М. Русецкий [и др.]; под общ.ред. А. М. Русецкого. – Минск : Беларус. навука, 2014. – 316 с.

8. Данилов, В. А. Анализ и реализация схем обработки некруглых поверхностей / В. А. Данилов, А. Н. Селицкий // Республиканский межведомственный сб. научных трудов «Машиностроение», 2007. – Вып. 23. – С. 173–177.

9. Станок для точения профильных деталей: полез. модель ВУ4540 / В. А. Данилов, А. Н. Селицкий; УО «Полоцкий государственный университет» Заявл. 2008.01.08. № u20080004.

Поступила 14.04.2020

УДК 621.002

Кане М.М., Загорская Н.Б.

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОЧНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ШЕСТЕРЁН ПОСЛЕ ИХ ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИЯ ЧЕРВЯЧНЫМИ ФРЕЗАМИ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В статье показана актуальность анализа фактических взаимосвязей показателей точности цилиндрических шестерён после различных операций обработки зубьев. В основе ГОСТ 1643–81, нормирующего требования к точности цилиндрических зубчатых передач, лежат взаимосвязи между основными показателями точности зубьев. Они учитывают некоторые закономерности зубонарезания и контроля зубьев. Однако в реальных производственных условиях эти закономерности могут изменяться с совершенствованием средств обработки и контроля зубьев, под влиянием различных факторов при обработке зубьев. Нами выполнено исследование указанных взаимосвязей в различных условиях обработки зубьев с применением корреляционного анализа. Выполнено ранжирование рассмотренных 17 показателей точности зубьев по силе связности между ними. Полученные результаты будут способствовать совершенствованию производства цилиндрических шестерён.

Введение. Зависимости между допусками зубьев цилиндрических шестерён, лежащие в основе ГОСТ 1643–81[1], были впервые сформулированы в 1956 году в первой редакции данного стандарта. Затем они были уточнены во второй редакции 1972 года и сохранены в действующей редакции 1981 года. Эти зависимости [2] позволили соблюсти принципиально верные соотношения между допусками на различные показатели точности зубьев, но не дают полной картины взаимосвязей между этими показателями после различных методов обработки. Это вызвано следующими причинами.

1. Имеющиеся зависимости охватывают ограниченное число показателей точности и действуют в основном внутри отдельных норм точности.

2. Фактические значения показателей точности зубьев при их обработке формируются под влиянием большого числа факторов и являются случайными величинами. Для анализа взаимосвязей между ними следует использовать также и статистические методы.

3. Совершенствование средств производства изменяет степень проявления элементных показателей точности зубьев шестерён в их комплексных показателях. Поэтому принятые сейчас базовые взаимосвязи между показателями точности зубьев [2] должны периодически пересматриваться. Это положение нашло своё подтверждение в том, что зависимости, положенные в основу ГОСТ 1643–56 и ГОСТ 1643–72 (81), отличаются друг от друга.