

УДК 621. 91. 01

В. А. Данилов¹, А. Н. Селицкий²¹Белорусский национальный технический университет, Министерство образования Республики Беларусь, ул. Хмельницкого, 9, 220013 Минск, Республика Беларусь, danilofva@mail.ru²Учреждение образования «Полоцкий государственный университет», Министерство образования Республики Беларусь, ул. Блохина, 29, 211440 Новополоцк, Республика Беларусь, +375 (214) 59-95-39, a.selitskiy@psu.by

ПОГРЕШНОСТЬ ПРОФИЛИРОВАНИЯ И КАЧЕСТВО СИНУСОИДАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ РОТАЦИОННОМ ТОЧЕНИИ ЭКСЦЕНТРИЧНО УСТАНОВЛЕННЫМ КРУГЛЫМ РЕЗЦОМ

Приведены результаты экспериментальных исследований точности профилирования и качества поверхностей, обработанных эксцентрично установленным принудительно вращающимся круглым резцом. Экспериментально подтверждено, что при обработке по первой схеме ротационного точения они имеют синусоидальный профиль, определена погрешность его формообразования. Установлено влияние параметров схемы обработки и элементов режима резания на шероховатость, твердость, топологию трехгранных и четырехгранных синусоидальных поверхностей, обработанных ротационным точением на шлицефрезерном станке.

Ключевые слова: синусоидальная цилиндрическая поверхность; ротационное точение; погрешность профилирования; шероховатость; твердость; топография поверхности.

Рис. 5. Табл. 1. Библиогр.: 19 назв.

V. A. Danilau¹, A. N. Sialitskiy²¹Belarusian National Technical University, Ministry of Education of the Republic of Belarus, 9 Khmel'nitsky St., 220013 Minsk, the Republic of Belarus, danilofva@mail.ru²Polotsk State University, Ministry of Education of the Republic of Belarus, 29 Blohin St., 211440 Novopolotsk, the Republic of Belarus, +375 (214) 59-95-39, a.selitskiy@psu.by

PROFILING ERROR AND QUALITY OF SINUSOIDAL CYLINDRICAL SURFACES UNDER ROTARY TURNING WITH AN ECCENTRIC CIRCULAR TOOL

The results of experimental studies of the profiling accuracy and quality of surfaces treated with a motorized eccentric circular tool are presented. It was experimentally confirmed that, when processing according to the first rotary turning circuit, they have a sinusoidal profile, the error of its shaping is determined. The influence of the processing circuit parameters and the elements of the cutting mode on the roughness, hardness, topology of trihedral and tetrahedral sinusoidal surfaces processed by rotary turning on a spline mill is established.

Keywords: sinusoidal cylindrical surface; rotary turning; profiling error; roughness; hardness; surface topography.

Fig. 5. Table 1. Ref.: 19 titles.

Введение. Профильные бесшпоночные соединения могут эффективно применяться вместо шлицевых и шпоночных в зубчатых передачах машин и механизмов, а также режущих и вспомогательных инструментах благодаря более высоким характеристикам. Все чаще встречаются металлорежущие и вспомогательные инструменты с использованием профильных поверхностей, например, система крепления Coromant Carpo фирмы Sandvik Coromant.

В мировой практике чаще применяются моментопередающие соединения с равноосным контуром (РК-профиль), обработка которых проводится на сложных и дорогостоящих станках-профиляторах. В общем случае некруглый профиль образуется вследствие непрерывного периодического изменения расстояния между осью вращения обрабатываемой заготовки и формообразующим элементом режущего инструмента.

В [1] исследованы процессы формообразования РК-профильных цилиндрических и конических поверхностей высокоскоростным фрезерованием на станках с числовым программным управлением пальцевыми фрезами, однако отмечена невысокая технологическая производительность и использование дорогостоящего оборудования.

Обработка профильных поверхностей с использованием планетарного перемещения инструмента представлена в [2], при реализации способа необходима дополнительная технологическая оснастка.

В целях исключения реверсивных движений возможны способы обработки профильных поверхностей с передачей какого-либо движения инструменту за счет его конструктивной формы. Рассмотрена обработка наружного РК-профиля сборными фасонными фрезами [3], охватывающей фрезой с конструктивной радиальной подачей [4], дисковой фрезой с аналогичным исполнением подачи [5], специальными червячными монолитными и сборными фрезами [6], долбяками, работающими по генераторной и пропорциональной схемам съема припуска [7]. Общий недостаток указанных способов — увеличение затрат на инструмент.

Заслуживает внимания близкий по геометрии к РК-профилю синусоидальный СК-профиль, ограниченный синусоидальной контурной кривой. Сопрягаемые поверхности деталей с таким профилем могут быть получены с более простой кинематикой формообразования и, следовательно, на более простых станках. Методы обработки синусоидальных цилиндрических поверхностей на универсальных токарных станках с сообщением резцу возвратно-поступательного движения, согласованного с вращением заготовки, исследованы в работах [8; 9]. При этом необходима специальная технологическая оснастка, так как наличие реверсивных движений создает неудовлетворительные динамические условия работы станка, снижает точность, ограничивает частоту вращения шпинделя и, следовательно, производительность обработки.

Поэтому актуальна разработка и реализация более эффективной технологии обработки синусоидальных поверхностей, при которой исключаются реверсивные движения и используется простая конструкция инструмента, например, методом ротационного точения эксцентрично установленным круглым резцом [10; 11].

Первой задачей исследования является экспериментальное подтверждение возможности формирования синусоидальной цилиндрической поверхности при обработке по первой схеме ротационного точения эксцентрично установленным принудительно вращающимся круглым резцом, что доказано теоретически [10].

Параметры схемы обработки профильных поверхностей [10; 12] существенно отличаются от ротационного точения круглых цилиндрических поверхностей самовращающимися и принудительно вращающимися резцами [13—16]. В частности, если в известных исследованиях кинематический коэффициент, равный отношению окружных скоростей резца и заготовки в зоне резания, при обработке самовращающимся инструментом не превышал 0,75, а принудительно вращающимся — 1,6, то при обработке профильных поверхностей по рассматриваемой схеме его значение может быть равно 9. Исследования ротационного резания со значением кинематического коэффициента в диапазоне 2—9 не проводились. Учитывая непрерывное изменение глубины резания и рабочих углов инструмента при ротационном точении синусоидальных цилиндрических поверхностей эксцентрично установленным круглым резцом, теоретическое и практическое значения имеют определение влияния отличительных признаков этого метода ротационного точения на шероховатость, твердость и топографию обработанной поверхности, что является второй задачей исследования.

Основная часть. Методика проведения экспериментов. Обработка выполнялась на шлицефрезерном станке модели HECKERT GFLV-250, так как он обеспечивает достаточную жесткость, не требует модернизации и специальной оснастки для реализации ротационного точения синусоидальных цилиндрических поверхностей. Поскольку участки валов момен-

топередающих соединений часто подвергаются термической обработке, то в качестве обрабатываемого материала принята сталь 40X в виде заготовок ступенчатого вала диаметром 25...55 мм с перепадом диаметра между ступенями 5 мм. Результаты исследований температуры резца [17] при обработке синусоидальных поверхностей на шлицефрезерном станке свидетельствуют о целесообразном его изготовлении из быстрорежущей стали. Применялись круглые резцы диаметром 50...60 мм из стали Р6М5, которые изготавливались из вышедших из строя угловых фрез. Выбор статических углов заточки инструмента обусловлен изменением рабочих углов [18], поэтому передний угол равен 10° , задний — 20° ; увеличение углов заточки может привести к потере механической прочности резца. Биение режущего лезвия после заточки — 0,01...0,02 мм.

Обрабатывались трехгранные и четырехгранные некруглые цилиндрические поверхности при следующих значениях параметров схемы обработки и элементов режимов резания: частота вращения резца (56; 71; 90 мин⁻¹), подача (0,134...0,67 мм / об), кинематический коэффициент (2...9), эксцентриситет установки резца относительно оси его вращения (1 мм). Глубина резания изменялась с учетом эксцентричной установки резца в диапазоне 0,5...4 мм. Значения кинематического коэффициента в указанном диапазоне достигались сочетанием диаметров резца и заготовки. При таких его значениях исключается образование нароста на режущем лезвии, что способствует уменьшению шероховатости обработанной поверхности.

Обработка некруглых валов осуществлялась по первой прямой схеме ротационного резания с однонаправленным вращением инструмента и движением подачи, что обеспечивает, по известным данным [13; 14], меньшую шероховатость обработанной поверхности.

Контроль профиля обработанной некруглой цилиндрической поверхности наружным диаметром 48 мм и эксцентриситетом $e = 1$ мм производился для двух партий образцов деталей по пять образцов в каждой на видеоизмерительном микроскопе Norgau NVM-4030D. Измерялись координаты x_i и y_i точек профиля (рисунок 1), по которым в графическом редакторе КОМПАС-3D определялись фактические значения наружного $r_{\phi \text{ нар}}$ и внутреннего $r_{\phi \text{ вн}}$ радиусов профиля и параметр $2e_\phi$ (удвоенное значение эксцентриситета установки резца), соответствующие определенным углам поворота заготовки ϕ_i .

Шероховатость обработанной поверхности контролировалась в продольном и поперечном направлениях на вершине и в середине ее профиля на контурографе-профилометре модели Formtracer SV-C4500H4 в пяти контрольных сечениях при базовой длине $l = 2,5 \times 3 = 7,5$ мм. По экспериментальным данным определялось среднеарифметическое значение параметра шероховатости Ra . Твердость обработанной поверхности (по Виккерсу) определялась в соответствии с [19] на микротвердомере Buehler Model No 1105D в шести точках вблизи вершины и середины профиля.

Для исследования топографии обработанной поверхности вырезались образцы размером 5×25 мм из вершины и середины грани профиля, которые контролировались на атомно-силовых микроскопах моделей NT-206 и Solver P47 Pro методом постоянной силы. Использовались бесконтактные кремниевые кантилеверы с коэффициентом жесткости 2,5...10 Н / м, резонансной частотой 115...190 кГц и радиусом кривизны кончика иглы не более 10 нм, при этом поле сканирования составляло от 20×20 до 40×40 мкм.

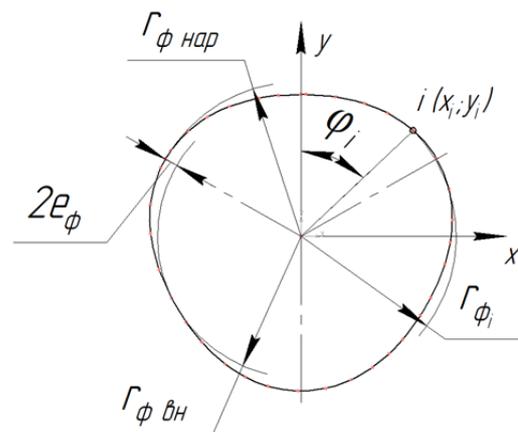


Рисунок 1. — Измеряемые геометрические параметры профиля

Результаты исследований. Определение погрешности профилирования обработанной поверхности. Контроль формы обработанной поверхности осуществлялся по 36 точкам профиля, фактические координаты которых регистрировались видеоизмерительным микроскопом. В графическом редакторе КОМПАС-3D по координатам x_i , y_i строился замкнутый контур, определялись оси симметрии профиля, для каждой точки измерялся соответствующий угол поворота заготовки φ_i (полярный угол) и фактический радиус r_{φ_i} (см. рисунок 1). В соответствии с полученным значением φ_i при заданных величинах среднего радиуса $r_{\text{ср}} = 46$ мм, числа выступов $m = 3$ и эксцентриситета $e = 1$ мм вычислялись номинальные значения радиуса r_i профиля по формуле [10]

$$r_i = r_{\text{ср}} - e \cos m\varphi_i.$$

Отклонение формы профиля от синусоидального определялось наибольшей разностью значений фактического r_{φ_i} и номинального r_i радиус-вектора при соответствующих значениях угла поворота заготовки φ_i в исследуемых точках.

Анализ результатов измерения параметров обработанной некруглой поверхности показал, что ее профиль является синусоидальным при максимальном его отклонении от номинального у первой партии деталей не более $\pm 0,016$ мм, а у второй партии деталей — $\pm 0,02$ мм; среднеквадратичное отклонение выборки составляет 0,012 мм и 0,014 мм соответственно. Погрешность формируемого синусоидального профиля обусловлена, в частности, отклонением от перпендикулярности взаимного расположения осей инструмента и заготовки, так как при наклоне оси вращения резца режущая кромка, формирующая синусоидальную поверхность, находится выше или ниже оси вращения заготовки.

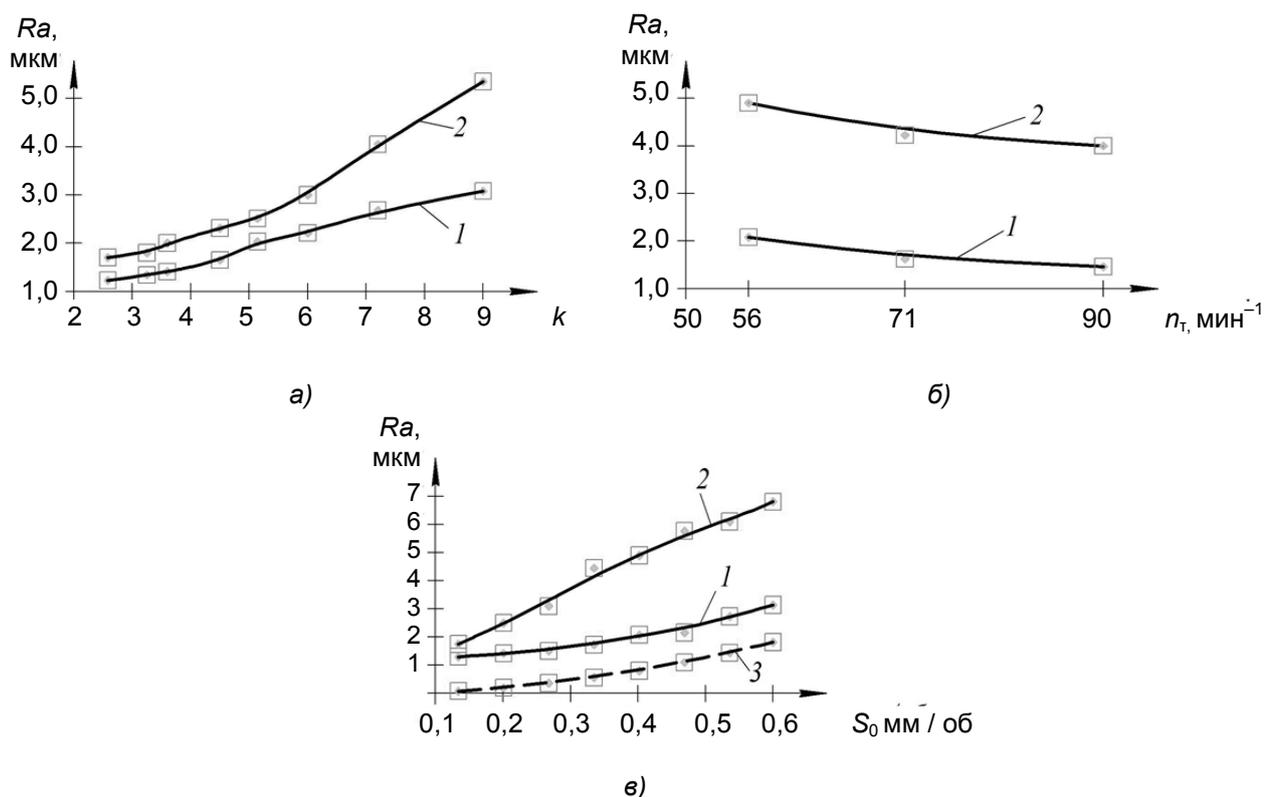
Качество обработанной поверхности. Расчетная высота микронеровностей $Ra_{\text{расч}}$ определяется в продольном направлении как ордината точки пересечения окружностей, отстоящих друг от друга на расстояние, равное подаче—перемещению s_0 резца вдоль оси вращения заготовки за один ее оборот, по формуле

$$Ra_{\text{расч}} = R_p - \sqrt{R_p^2 - 0,25s_0^2} \approx s_0^2 / 8R_p,$$

где R_p — радиус ротационного резца.

Высота шероховатости увеличивается при возрастании подачи, уменьшается при увеличении радиуса резца и не зависит от кинематического коэффициента. Фактическая высота шероховатости отличается от расчетной вследствие влияния пластической и упругой деформации материала заготовки, жесткости технологической системы и других факторов [13], что обуславливает необходимость экспериментальных исследований.

Графики зависимости высоты Ra микронеровностей синусоидальной поверхности от основных параметров схемы ее точения эксцентрично установленным круглым резцом показаны на рисунке 2, из которого следует, что с увеличением кинематического коэффициента k высота микронеровностей возрастает. Это можно объяснить увеличением скорости проскальзывания задней поверхности резца [13], уменьшением кинематического заднего угла [13; 16] и, как следствие, увеличением пластической деформации поверхностного слоя.



1(2) — значения шероховатости поверхности в вершинах (в середине) профиля;
3 — график расчетной зависимости

Рисунок 2. — Зависимости средней арифметической высоты микронеровностей по параметру Ra обработанной поверхности: от кинематического коэффициента k (при $n_t = 56 \text{ мин}^{-1}$; $S_0 = 0,135 \text{ мм / об}$; $t = 3,3 \text{ мм}$) (а), скорости вращения резца (при $k = 3,25$; $S_0 = 0,4 \text{ мм / об}$; $t = 3,3 \text{ мм}$) (б), подачи (при $k = 3,25$; $n_t = 56 \text{ мин}^{-1}$; $t = 3,3 \text{ мм}$) (в)

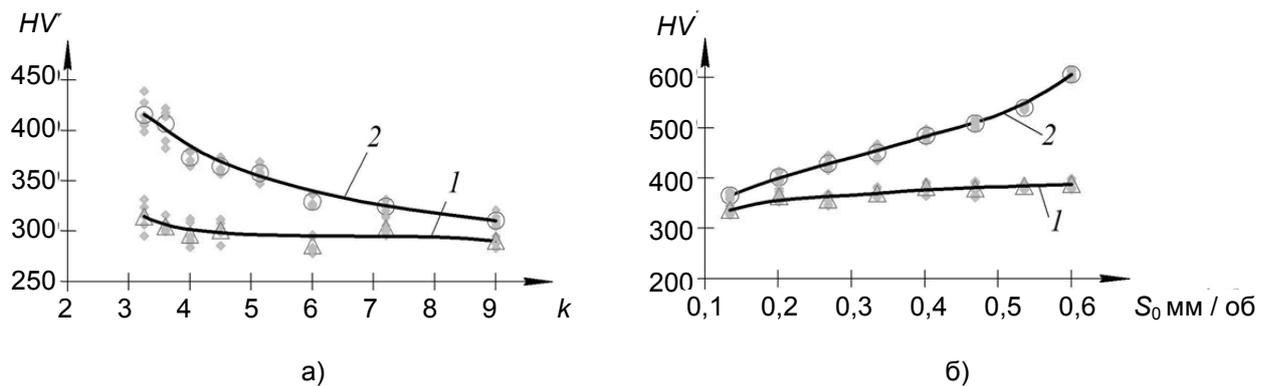
Изменение скорости вращения резца в связи с отсутствием наростообразования, приводит к незначительному монотонному уменьшению высоты микронеровностей, что согласуется с результатами исследований [13—16]. Наибольшее влияние на нее оказывает подача.

Изменение глубины резания в широких пределах (до 4 мм) практически не влияет на шероховатость обработанной поверхности на всей ширине грани.

Различие значений высоты шероховатости в вершине и середине синусоидального профиля (см. рисунок 2) связано с увеличением рабочей длины режущей кромки и достижением максимальной глубины резания в середине грани. При чистовом точении параметр Ra составляет 1...2 мкм.

Твердость обработанной синусоидальной поверхности в зависимости от кинематического коэффициента незначительно снижается вблизи вершин граней (рисунок 3, а) при изменении k в диапазоне $3 \leq k \leq 6$, при этом она на 15...25 % выше по сравнению с исходной твердостью 250...270 HV 0,2 материала заготовки. Вблизи середины грани твердость обработанной поверхности уменьшается более интенсивно.

С увеличением подачи (см. рисунок 3) твердость у вершин граней возрастает незначительно, а вблизи их середины — более интенсивно. Различие твердости обработанной поверхности вблизи вершины и середины профиля связано с переменной глубиной резания при обработке круглых заготовок.



1 (2) — вблизи вершин (середины) граней

Рисунок 3. — Зависимости твердости обработанной поверхности от кинематического коэффициента ($n_\tau = 56 \text{ мин}^{-1}$; $S_0 = 0,2 \text{ мм / об}$; $t = 3,3 \text{ мм}$) (а), подачи ($k = 3,25$; $n_\tau = 56 \text{ мин}^{-1}$; $t = 3,3 \text{ мм}$) (б)

На рисунке 4 представлена полученная с применением атомно-силового микроскопа топография синусоидальной цилиндрической поверхности с тремя гранями, обработанной эксцентрично установленным круглым резцом. Микронеровности обработанной поверхности имеют периодически повторяющиеся закругленные вершины и впадины, что должно способствовать созданию большего натяга при прессовом соединении [14].

Важной характеристикой топографии поверхности является опорная кривая — графическое изображение зависимости значений относительной опорной длины профиля, которая строится на основании профилограммы и показывает характер распределения материала в поверхностном слое на каждом уровне.

Относительная опорная длина профиля t_p согласно ГОСТ 25142-82 (изменения от 01.07.18) определяется как отношение опорной длины профиля на уровне p к базовой длине:

$$t_p = \frac{\eta_p}{l},$$

где η_p — сумма длин отрезков, отсекаемых на заданном уровне в материале профиля линией, эквидистантной средней линии в пределах базовой длины;

l — длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности.

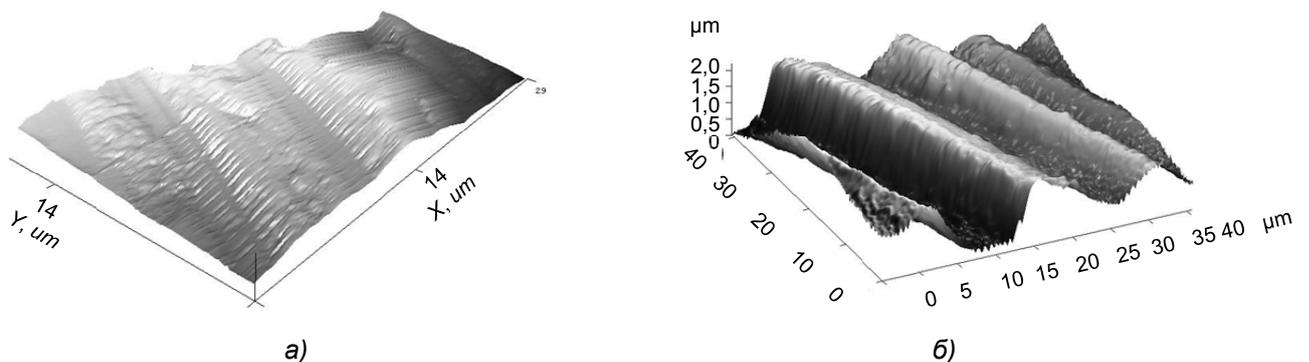
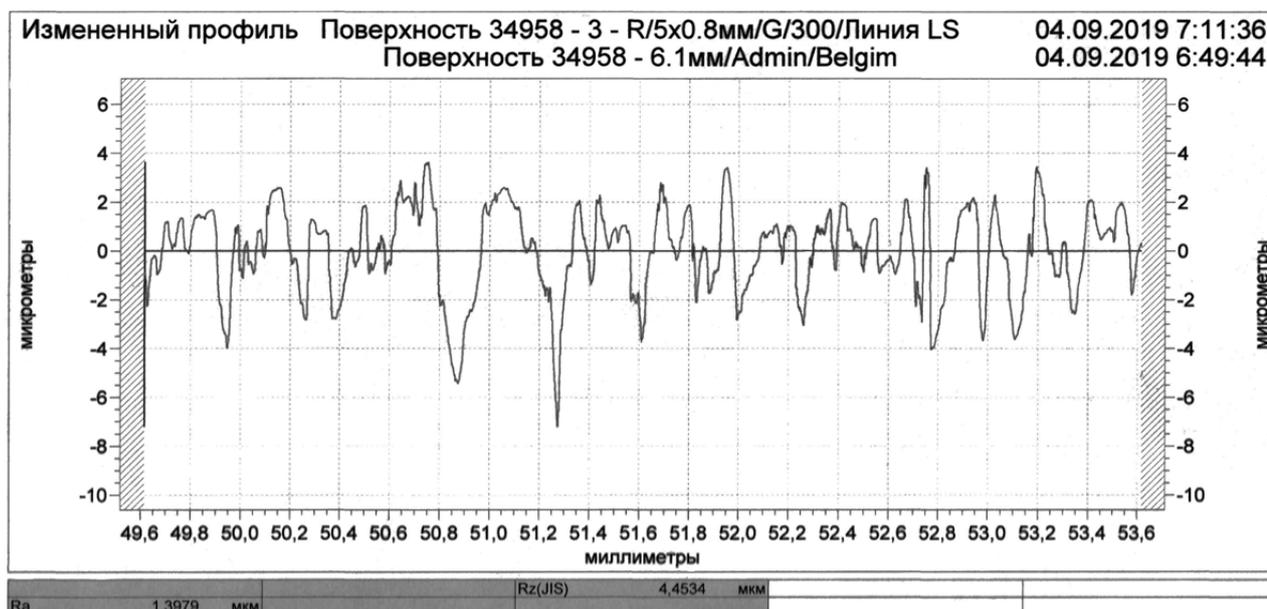


Рисунок 4. — Топография обработанной поверхности ($k = 3,25$; $n_\tau = 56 \text{ мин}^{-1}$; $S_0 = 0,135 \text{ мм / об}$; $t = 3,3 \text{ мм}$): в вершине профиля (АСМ 206) (а); в середине грани (АСМ Solver P47 Pro) (б)

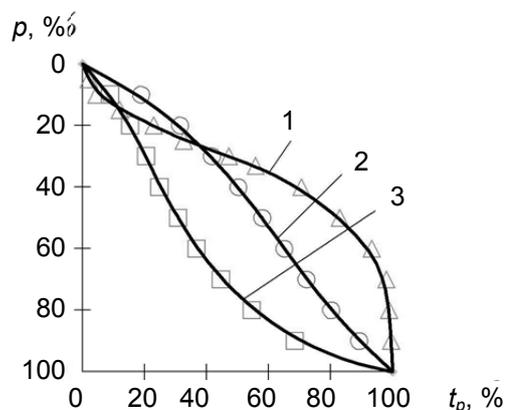
На рисунке 5 представлена профилограмма и соответствующая ей зависимость относительной опорной длины профиля от уровня сечения обработанной поверхности (кривая 1), построенной по данным таблицы 1.

Т а б л и ц а 1. — Относительная опорная длина профиля в зависимости от уровня его сечения

Уровень p , %	Относительная опорная длина профиля t_p , %	Уровень p , %	Относительная опорная длина профиля t_p , %
5	2,06	40	70,57
10	4,47	50	82,985
15	12,075	60	93,265
20	23,01	70	98,03
25	32,71	80	98,905
30	47,245	90	99,565



а)



б)

Рисунок 5. — Профилограмма (а) и опорные кривые (б) при обработке профильных (1), цилиндрических поверхностей ротационным (2) и призматическим (3) резцами

Сравнение опорных кривых, полученных при обработке круглой цилиндрической поверхности ротационным (кривая 2), призматическим (кривая 3) резцами (по результатам исследований [14]) и синусоидальной цилиндрической поверхности (кривая 1) принудительно вращающимся ротационным резцом, показывает, что форма неровностей обеспечивает интенсивное увеличение относительной опорной длины профиля по мере углубления в материал. При значении уровня $p = 40 \dots 50$ % относительная опорная длина профиля t_p синусоидальной цилиндрической поверхности значительно больше, чем круглой цилиндрической, при $p = 55$ % и больше величина $t_p > 90$ %, что способствует увеличению фактической площади контакта сопрягаемых поверхностей, а также возрастанию усилия запрессовывания [14].

При ротационном точении синусоидальной цилиндрической поверхности круглый резец имеет значительно большую окружную скорость, чем заготовка, что способствует сокращению опорной длины профиля в зоне вершин микронеровностей и рост относительной опорной поверхности на последующих уровнях.

Заключение. Экспериментально подтверждено, что профиль некруглой поверхности, формируемый при ее ротационном точении эксцентрично установленным принудительно вращающимся круглым резцом является синусоидальным с максимальным отклонением от номинального в пределах $0,03 \dots 0,04$ мм.

Экспериментально установлено, что с увеличением кинематического коэффициента шероховатость обработанной синусоидальной поверхности возрастает, при этом из элементов режима резания наибольшее влияние на нее оказывает подача. Высота шероховатости изменяется вдоль профиля обработанной поверхности от Ra 1,2 мкм в вершинах до Ra 1,5 мкм в середине граней, что обусловлено переменной глубиной резания. Доказана практическая возможность ротационной обработки синусоидальной профильной поверхности с обеспечением требуемой шероховатости, минимальные значения которой выявлены при $k \leq 4$, $S_0 \leq 0,35$ мм / об.

Твердость обработанной синусоидальной поверхности различна в вершине и середине грани. В вершине она на $15 \dots 25$ % выше твердости материала заготовки, что следует принимать во внимание при использовании поверхностного упрочнения. Твердость снижается при увеличении кинематического коэффициента и возрастает при увеличении подачи.

Исследованием обработанной поверхности на атомно-силовом микроскопе установлено, что она имеет микронеровности с периодически повторяющимися закругленными вершинами и впадинами с шероховатостью Ra 1,2...1,5 мкм. Форма неровностей обуславливает увеличение относительной опорной длины профиля по мере углубления в материал по сравнению с обработкой круглой цилиндрической поверхности ротационным и призматическим резцами, что может быть использовано при проектировании прессовых соединений.

Список цитируемых источников

1. Зенин, Н. В. Технологическое обеспечение качества трехгранного профиля бесшпоночных соединений в условиях серийного производства : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Н. В. Зенин. — М., 2007. — 18 с.
2. Разумов, М. С. Повышение производительности формообразования наружных поверхностей посредством планетарного механизма : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.07 / М. С. Разумов. — Курск, 2011. — 158 с.
3. Шитиков, А. Н. Проектирование сборных фрез для обработки наружного РК-профиля : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. Н. Шитиков. — Тула, 2007. — 20 л.
4. Моделирование производящих поверхностей охватывающих фрез с конструктивной радиальной подачей для обработки валов с равноосным контуром / В. В. Куц [и др.] // Вестн. Брян. гос. техн. ун-та. — 2016. — № 4. — С. 146—150.
5. 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-Запад. гос. ун-т. — Курск, 2014. — 20 с.

6. *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.
7. *Панкратов, П. А.* Разработка эффективного долбежного инструмента для обработки сложных криволинейных поверхностей по методу обкатывания : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / П. А. Панкратов. — Курск, 2013. — 20 с.
8. *Синкевич, В. М.* Новый вид профильных соединений в узлах судовых механизмов / В. М. Синкевич, Е. П. Микитюк // *Вестн. машиностроения*. — 1990. — № 11. — С. 60—63.
9. *Ворона, В. В.* Расчет оснастки и операции токарной обработки синусоидальных цилиндрических поверхностей : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / В. В. Ворона. — Челябинск, 2008. — 20 с.
10. *Данилов, В. А.* Анализ и реализация схем обработки профильных цилиндрических поверхностей ротационным инструментом / В. А. Данилов, А. Н. Селицкий // *Гор. механика и машиностроение : междунар. науч.-техн. журн.* — 2012. — № 4. — С. 71—82.
11. *Пантелеенко, Ф. И.* Системный анализ и синтез рациональных методов профилирования некруглых поверхностей / Ф. И. Пантелеенко, А. А. Данилов // *Актуал. проблемы в машиностроении*. — 2017. — Т. 4, № 1. — С. 59—64.
12. *Данилов, В. А.* Анализ схемы ротационного точения некруглых поверхностей эксцентрично установленным круглым резцом / В. А. Данилов, А. Н. Селицкий // *Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В : Прикладные науки*. — 2017. — № 11. — С. 26—33.
13. *Коновалов, Е. Г.* Прогрессивные схемы ротационного резания металлов / Е. Г. Коновалов, В. А. Сидоренко, А. В. Соусь ; под ред. Е. Г. Коновалова. — Минск : Наука и техника, 1972. — 272 с.
14. *Ротационное резание материалов / П. И. Ящерицын [и др.]*. — Минск : Наука и техника, 1987. — 229 с.
15. *Бобров, В. Ф.* Резание металлов самовращающимися резцами / В. Ф. Бобров, Д. Е. Иерусалимский. — М. : Машиностроитель, 1972. — 112 с.
16. *Гик, Л. А.* Ротационное резание металлов / Л. А. Гик. — Калининград : Книж. изд-во, 1990. — 254 с.
17. *Данилов, В. А.* Исследование тепловых явлений при ротационном точении профильных поверхностей с синусоидальным профилем эксцентрично установленным круглым резцом / В. А. Данилов, А. Н. Селицкий // *Вестн. Брест. гос. тех. ун-та. Машиностроение*. — 2019. — № 4 (117). — С. 48—51.
18. *Данилов, В. А.* Анализ схемы ротационного точения некруглых поверхностей эксцентрично установленным принудительно вращающимся круглым резцом / В. А. Данилов, А. Н. Селицкий // *Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В : Прикладные науки*. — 2019. — № 11. — С. 26—33.
19. *Материалы металлические. Определение твердости по Виккерсу*. : ИСО 6507-1:2018. — Введ. 10.01.18. — Минск : БелГИСС, 2018. — Ч. 1 : Метод испытания. — 40 с.

Поступила в редакцию 04.05.2020