

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ НА ТОЧНОСТЬ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС ПРИ ШЕВИНГОВАНИИ



Мардонов Б.Т.,
Ректор Навоийского
государственного
горно-технологического
университета, д.т.н., профессор



Шакулов Б.К.,
ООО «GIDRO STANKO SERVIS»,
Инженер-технолог



Сайфидинов О.О.,
Навоийский государственный
горно-технологический
университет, Ph.D, доцент

Аннотация. Исследована и математически описана зависимость точности и шероховатости обработанной поверхности зубьев цилиндрических зубчатых колёс от скорости резания при финишной обработке шеввером-прикатником. Цель работы заключалась в установлении закономерностей формирования микрогеометрии боковых поверхностей зубьев при изменении режимов резания и в разработке расчетной модели, позволяющей прогнозировать показатели качества без проведения трудоёмких серийных испытаний.

Экспериментальные исследования выполнены на токарном станке с ЧПУ Vturn-46 с применением специальной двуххвостовой оправки, обеспечивающей устойчивое базирование и согласованное относительное движение инструмента и заготовки. В качестве объектов обработки использованы прямозубые колёса из стали 40Х (ГОСТ 4543-71) с параметрами $m = 3$ и $z = 24$. Предварительное формообразование осуществлялось методом зубофрезерования, после чего выполнялась финишная обработка шеввингованием-прикатыванием.

Испытаны три режима по частоте вращения заготовки: $n = 700, 450$ и 200 об/мин при подаче на врезание $S_{in} = 0,02-0,03$ мм/цикл и прерывистой подаче $S_{np} = 0,03$ мм/об. Эксперименты проводились сериями по 10 заготовок для каждого режима, что позволило оценить воспроизводимость результатов и снизить влияние случайных факторов. Показатели качества поверхности анализировались по параметрам точности и шероховатости боковых поверхностей зубьев, а также по характеру изменения микропрофиля в зависимости от скорости и параметров подачи.

Построенная математическая модель адекватно отражает влияние скорости резания и режимов подачи на формирование микрогеометрии и обеспечивает удовлетворительное согласование с экспериментальными данными. Показано, что изменение скорости резания приводит к закономерной перестройке условий контактного взаимодействия и пластического деформирования в зоне обработки, что напрямую влияет на уровень шероховатости и стабильность формирования профиля зуба. Модель может применяться для подбора рациональных режимов финишной обработки и для технологической подготовки производства, позволяя сократить объём натурных экспериментов.

Полученные результаты подтверждают технологическую целесообразность применения шеввингования-прикатывания на универсальном ЧПУ-оборудовании как эффективной альтернативы специализированным зубообрабатывающим станкам. Метод обеспечивает повышение точности и снижение шероховатости боковых поверхностей зубьев, расширяя возможности внедрения финишных операций в условиях мелкосерийного и ремонтного производства.

Ключевые слова: цилиндрические зубчатые колёса; шеввер-прикатник; скорость резания; точность; шероховатость; финишная обработка; ЧПУ; сталь 40Х

SILINDRSIMON TISHLI G'ILDIRAKLARNI SHEVINGLASH JARAYONIDA KESISH TEZLIGINING ANIQLIK VA SIRT NOTEKISLIGIGA TA'SIRI

Mardonov B.T.¹, Shakulov B.K.², Sayfidinov O.O.¹

¹ Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, O'zbekiston Respublikasi

² MChJ GIDRO STANKO SERVIS, O'zbekiston Respublikasi

Аннотатсия. Silindrsimon tishli g'ildiraklar tishlarining ishlov berilgan yuzasi aniqligi va sirt g'adir-budurligining yakuniy ishlov — shever-prikatnik yordamida bajarilganda kesish tezligiga bog'liqligi tadqiq etildi va matematik jihatdan tavsiflandi. Ishning maqsadi kesish rejimlari o'zgarganda tishlarning yon sirtlarida mikrogeometriya shakllanish qonuniyatlarini aniqlash hamda ko'p mehnat talab qiladigan seriyali sinovlarsiz sifat ko'rsatkichlarini oldindan bashorat qilish imkonini beruvchi hisobiy model ishlab chiqishdan iborat.

Tajriba tadqiqotlari Vturn-46 rusumli CNC tokarlik stanogida maxsus ikki o'qli opravka qo'llangan holda bajarildi; u asbob va zagotovkaning barqaror bazalani-shi hamda ularning o'zaro harakatini muvofiqlashtirishni ta'minlaydi. Ishlov berish obyekti sifatida 40X po'lati (GOST 4543-71)dan tayyorlangan to'g'ri tishli g'ildiraklar tanlandi: $m = 3$, $z = 24$. Oldindan shakllantirish tish frezalash (zubyo-frezalash) usuli bilan bajarilib, shundan so'ng yakuniy ishlov sheverlash-prikatlash orqali amalga oshirildi.

Zagotovkaning aylanish chastotasi bo'yicha uchta rejim sinovdan o'tkazildi: $n = 700, 450$ va 200 ayl/min. Bunda vrezib kirish uzatmasi $S_{1n} = 0,02-0,03$ mm/sikl va uzilishli (preryvisty) uzatma $S_{np} = 0,03$ mm/ayl qabul qilindi. Tajribalar har bir rejim uchun 10 tadan zagotovka bilan seriyalar ko'rinishida olib borildi; bu natijalarning takrorlanuvchanligini baholash va tasodifiy omillar ta'sirini kamaytirish imkonini berdi. Sirt sifati ko'rsatkichlari tish-larning yon sirtlari aniqligi va g'adir-budurligi parametrlari bo'yicha, shuningdek tezlik va uzatma parametrlariga bog'liq holda mikroprofilning o'zgarish xarakteri asosida tahlil qilindi.

Qurilgan matematik model kesish tezligi hamda uzatma rejimlarining mikrogeometriya shakllanishiga ta'sirini yetarli darajada aks ettiradi va tajriba ma'lumotlari bilan qoniqarli moslikni ta'minlaydi. Kesish tezligining o'zgarishi kontakt o'zaro ta'sir sharoitlari va ishlov zonasidagi plastik deformatsiya jarayonlarining qonuniy ravishda qayta shakllanishiga olib kelishi, natijada g'adir-budurlik darajasi hamda tish profilining shakllanish barqarorligiga bevosita ta'sir qilishi ko'rsatildi. Model ishlab chiqarishni texnologik tayyorlashda va yakuniy ishlovning oqilona rejimlarini tanlashda qo'llanishi mumkin bo'lib, natural tajribalar hajmini qisqartirishga xizmat qiladi.

Olingan natijalar universal CNC uskunalarida sheverlash-prikatlash usulini qo'llashning texnologik jihatdan maqsadga muvofiqligini, ya'ni maxsus tish ishlov berish stanoklariga samarali muqobil ekanini tasdiqlaydi. Ushbu usul tishlarning yon sirtlari aniqligini oshirish va g'adir-budurligini kamaytirishni ta'minlab, kichik seriyali hamda ta'mirlash ishlab chiqarishi sharoitida yakuniy operatsiyalarni joriy etish imkoniyatlarini kengaytiradi.

Kalit so'zlar: silindrik tishli g'ildiraklar; shever-prikatnik; kesish tezligi; aniqlik; sirt qo'poliligi; f-inish ishlov berish; ChPU; 40X po'lati.

EFFECT OF CUTTING SPEED ON THE ACCURACY AND SURFACE ROUGHNESS OF CYLINDRICAL GEARS DURING SHAVING

Mardonov B.T.¹, Shakulov B.K.², Sayfidinov O.O.¹

¹ Navoi State University of Mining and Technology, Republic of Uzbekistan

² GIDRO STANKO SERVIS LLC, Republic of Uzbekistan

Abstract. The relationship between the accuracy and surface roughness of the tooth flanks of cylindrical gears and the cutting speed during finishing with a shaving-rolling tool (shaver-roller) was investigated and described mathematically. The goal was to identify patterns governing the formation of flank micro-geometry under different cutting conditions and to develop a predictive model that estimates quality indicators without requiring labor-intensive production-scale trials.

The experimental study was conducted on a Vturn-46 CNC lathe using a special two-axis fixture that ensures stable positioning and coordinated relative motion between the tool and the workpiece. The workpieces were spur gears made of 40Kh steel (GOST 4543-71) with parameters $m = 3$ and $z = 24$. Initial geometry was generated by gear hobbing, followed by finishing through shaving-rolling. Tests were performed at various cutting speeds, with each regime tested on batches of 10 workpieces to assess reproducibility and reduce the effects of random factors. Surface quality was evaluated based on the accuracy and roughness of the tooth flanks, as well as the microprofile changes relative to cutting speed and feed parameters.

The developed mathematical model accurately captures how cutting speed and feed conditions influence micro-geometry formation and shows good agreement with experimental data. It demonstrates that changes in cutting speed cause systematic shifts in contact interaction conditions and plastic deformation behavior in the processing zone, which directly affect roughness levels and the stability of tooth profile formation. The model can be used to select optimal finishing parameters and plan processes more efficiently, reducing the need for extensive full-scale experiments. The results confirm that shaving-rolling can be effectively performed on general-purpose CNC equipment as an alternative to specialized gear-finishing machines. This method improves accuracy and lowers the surface roughness of the tooth flanks, broadening opportunities for finishing operations in small-batch and repair production environments.

Keywords: cylindrical gears; shaver-roller; cutting speed; precision; roughness; finishing; CNC; 40X steel

Введение.

В мировом масштабе разработка новых способов конструкторско-технологического обеспечения точности обработки цилиндрических зубчатых колес является одной из основных путей повышения точности и производительности изготовления зубчатых колес.

Несмотря на множество разработанных технологии формообразование зубьев зубчатых колес в машиностроение остается одним из важнейших проблем получения зубчатых колес с высокой точностью.

Известно изготовление зубчатых колес в машиностроение является сложной и дорогостоящий процесс, требующий разнообразных специальной оборудования. Несмотря на различные способы изготовления цилиндрических зубчатых колес оставляет за собой решить проблемы получистовой и чистовой механической обработки цилиндрических зубчатых колес. Для решения данной проблемы разработан способ финишной обработки зубьев зубчатых колес и конструкция специального обкатного ин-

струмента для его реализации.

Этот способ механической обработки цилиндрических зубчатых колес не требует специального оборудования. Устанавливается в патроне токарного станка с ЧПУ Vturn-46 специальная двухосная оправка (далее ДОС) поджатием заднего центра закрепляемых обрабатываемая цилиндрическая зубчатая колесо, специальный инструмент для чистовой обработке цилиндрических зубчатых колес изготовленный из инструментальной стали Р6М5 шеве-р-прикатник в револьверном головке суппорта станка приспособлением с шеве-ром-прикатником.

Материалы и методы исследования.

Обеспечение требуемых высоких показателей точности, снижение шероховатости и качества обработки зубчатых колес достигается путем совершенствования технологии их изготовления, в частности, применением способа обработки с использованием специального обкатного инструмента «шевера-прикатника».

Обрабатываемая цилиндрическая зубчатое колесо установ-

ленный в ДОС в патроне станка, поджатый в центрах вращением шпинделя станка вращает шевера-прикатника установленной на суппорте в параллельных осях, имеющего режущие кромки, смещенные по винтовой поверхности. При этом зацепление шевера-прикатника с обрабатываемым колесом выполняется вне полюсным. Зуба обработка ведется с периодической радиальной подачей после каждого 2-4 циклов, выключающих поворот обрабатываемого колеса в прямом и обратном направлениях на количество оборотов, равное числу зубьев шевера-прикатника, и без радиальной подачи в течение 1-2 циклов выхаживания, выключающих поворот обрабатываемого колеса в прямом и обратном направлениях на количество оборотов, равное числу зуб шевера-прикатника [1].

Процесс обработки зубчатых венцов обкатным инструментом исправляет погрешности, снижает шероховатости обработанных поверхностей заготовки, в основном, за счет срезания припуска, частично – в за счет выдавливания, с таким образом, поверхность зубьев получается гладкая, чистая [2].

Результаты исследования

Результаты исследования показывают, что удается получить удовлетворительные результаты по точности при обработке заготовок прямозубой цилиндрической зубчатой колеса выполненной из стали 40Х ГОСТ4543-71 модуль $m = 3$, число зубьев $z = 24$, коэффициент смещения исходного контура $x = 1.4$ мм.

Необходимо отметить, что при обработке с использованием «шевера-прикатника», изготовленного из инструментальной стали Р6М5, на боковой и основной рабочей поверхности зуба зубчатого колеса получился более гладкий, твердый и упрочненный слой поверхности.

Предварительная формообразование зубьев обрабатываемого колеса осуществлялось зубофрезерованием. Финишная обработка зубьев цилиндрической зубчатого колеса велась инструментом шевером-прикатником, изготовленный из инструментальной стали Р6М5 формой прототип корригированного цилиндрической зубчатого колеса образованными пересечением боковых поверхностей зубчатого венца винтовыми канавками, прорезанными по всей высоты зуба, модуль $m = 3$, число зубьев

$z = 31$, коэффициент смещения исходного контура $x = 1.4$ мм, припуск после зубофрезерования 0.25 мм, обработка проводилась из партии 10 шт заготовок, при режимов обработки:

Пробные эксперименты, проведенные нами, показывают, что удается получить удовлетворительные результаты по точности при обработке заготовок прямозубой цилиндрической зубчатой колеса, обработка проводилась из партии 10 шт заготовок на каждого процесса проведения эксперимента, при режимов обработки:

а. частота вращения заготовки $n = 700$ об/мин, $n = 450$ об/мин, подача на врезания $S = 0.02$ мм

на рабочий цикл, подача на прерывистой подачи $S_{np} = 0.03$ мм.

б. частота вращения заготовки $n = 200$ об/мин, подача на врезания $S = 0.03$ мм

на рабочий цикл, подача на прерывистой подачи $S_{np} = 0.03$ мм.

Следует отметить, что на всех рабочих циклах обработку на фиксированных межосевых расстояниях, уменьшаемых от цикла к циклу путем осуществления прерывистой подачи.

Точность обработки при режимах обработки $n = 700$ об/мин, $n = 450$ об/мин лежит в пределах 6-7 степени точности по ГОСТ1643-83, шероховатость обработанной поверхности зубьев зубчатого колеса мкм, имеют следы волнистости (таблица 1. поз. а).

Точность при режиме обработки $n = 200$ об/мин лежит в пределах 6-степени точности по ГОСТ1643-83, шероховатость обработанной поверхностей зубьев зубчатого колеса мкм (таблица 1. поз. в).

По результатам проведенных экспериментов свидетельствует, что для эффективной обработки зубьев цилиндрических зубчатых колес является при режимов обработки, частота вращения заготовки $n = 200$ об/мин, подача на врезания $s = 0.03$ мм, на рабочий цикл, подача на прерывистой подачи $S_{np} = 0.03$ мм, достигается максимальной точности по ГОСТ1643-83, минимальной шероховатостью обработанных боковых поверхностей зубьев (таблица 1. поз. в).

Таблица 1

Математическое моделирования влияние скорости резания на точности обработки цилиндрических зубчатых колес

№ п/п	Частота вращения заготовки $n = \text{об/мин}$	Подача на врезания инструмент $S = \text{мм/раб цикл}$	Подача на прерывистой подачи $S_{np} = \text{мм/об}$	Степень точности по ГОСТ 1643-83	Шероховатость обработанной поверхности $Ra = \text{мкм}$
а	700	0.02	0.03	6-7	1.6
б	450	0.02	0.03	6-7	1.6
в	200	0.03	0.03	6	0.28

Исходные данные и условия моделирования. Для проведения математического моделирования и численных симуляций использовались программное обеспечение MATLAB, установленное на вычислительной платформе Apple MacBook M3 Pro. Данное программное обеспечение обеспечило высокую точность численного решения дифференциальных уравнений, обработки экспериментальных данных и построения графических зависимостей, представленных в последующих разделах.

Используемые данные и геометрические параметры (общие для всех).

Результаты экспериментальных исследования, представлено в таблице 1, послужило основой для численного моделирования. Входные данные и режим обработки, приведен в таблице 1.

Таким образом, для всех рассматриваемых случаев исполь-

зовались одинаковые условия подачи $S_{in} = 0.02 \dots 0.03$ мм/раб. цикл, $S_{np} = 0.03$ мм/об, что позволило корректно сопоставить по результате износа и шероховатости.

Преобразование частоты вращения в скорость резания. Частота вращения шпинделя (об/мин) была пересчитана в линейную скорость резания (м/мин) по стандартной зависимости:

$$V [\text{м/мин}] = \frac{\pi D_{\text{мм}} n}{1000} \quad (1)$$

где

V — скорость резания, м/мин;

D — диаметр заготовки, мм;

n — частота вращения шпинделя, об/мин.

Модель шероховатости для прогнозирования точности поверхности.

В целях установления взаимосвязи между кинематическими параметрами процесса резания и чистой получаемой поверхностью была использована двухчленная эмпирическая зависимость для среднего арифметического отклонения профиля R_a [5]:

$$R_a(V, S_{in}) = B + \frac{\kappa}{\sqrt{k_v V}} + \beta(S_{in} - S_0) \quad (2)$$

где

B — базовый термин, представляющий собой сглаживание задержки (B).

$\kappa / \sqrt{k_v V}$ — термин «выступ»/кинематика (более быстрое эффективное скольжение $\Rightarrow$ меньшая высота выступа).

$\beta(S_{in} - S_0)$ — чувствительность к подаче около эталонного значения подачи S_0 (больше подачи $\rightarrow$ немного выше R_a).

k_v объединяет сопоставление скорости резания со скоростью «эффективного скольжения», используемой для финишной обработки.

Математическое моделирование точности поверхности. Логистическая функция определяется выражением [6]:

$$P_6(R_a) = \frac{1}{1 + \exp(-(w_0 + w_1 R_a))} \quad (3)$$

где:

$P_6(R_a)$ — вероятность того, что поверхность соответствует 6-му классу точности;

w_0, w_1 — параметры модели, определяемые методом логистической регрессии;

R_a — среднее арифметическое отклонение профиля (шероховатость поверхности, мкм).

$$''\text{оценка}'' R_a = 6 + 1 / 2(1 - P_6(R_a)) \quad (4)$$

Таким образом, модель формирует плавный переход между классами 6 и 7, что соответствует реальной технологической зависимости: при увеличении шероховатости наблюдается постепенное снижение качества поверхности.

При $R_a \approx 0.8 \mu m$ (скорость вращения шпинделя) $n = 200$ об/мин наблюдается 6-й класс точности (Рис.1);

При $R_a \approx 1.6 \mu m$ (режимы = 450 - 700 об/мин) отмечается переходный диапазон 6–7 классов (Рис.1.).

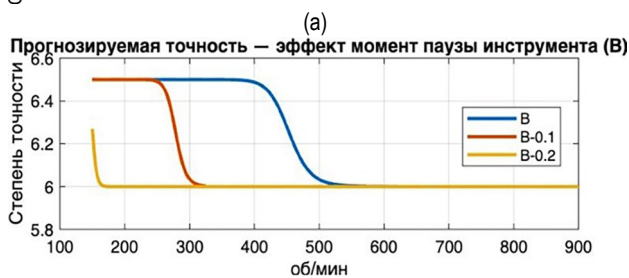
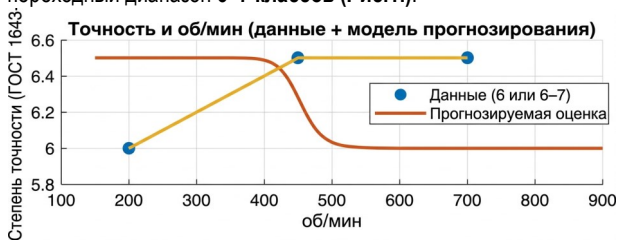


Рис.1. Графическое изображение точности при математическом моделировании проведенной экспериментальной исследования влияние скорости резания на точности обработки.

Данный диапазон подтверждает чувствительность модели к изменению шероховатости в реальных производственных условиях.

Чувствительность задержки (вторая панель). Чтобы показать, как более сильная задержка повышает точность, скрипт уменьшает B на 0,1 и 0,2 [7]:

Это показывает, как сглаживание базового уровня само по себе может сместить ожидаемую оценку в сторону «6».

Измеренные значения шероховатости/класса взяты из Таблицы 1.

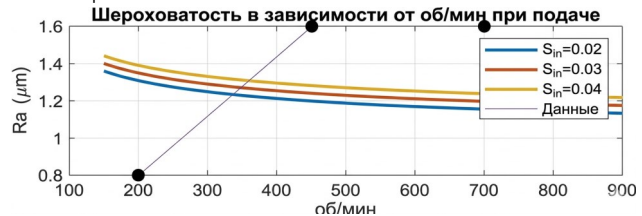


Рис.2. График влияние подачи врезание инструмента на шероховатость обработанной поверхности зубьев зубчатого колеса.

Анализ влияния момента паузы инструмента на точность финишной обработки зубчатых колес

В рамках математического моделирования была проведена оценка влияния момента паузы инструмента (параметра B) на точность механической обработки зубьев цилиндрических прямозубых зубчатых колес при финишной обработке шевром-прикатником. Ранее было показано, что уменьшение параметра B на значения 0.1 и 0.2 условно моделирует увеличение «эффекта задержки» в системе резания, что приводит к более выраженному сглаживанию поверхности и, соответственно, повышению точности обработки.

Результаты математического моделирования. В ходе численного моделирования построены графики зависимости класса точности от частоты вращения заготовки при различных значениях момента паузы (задержки) обкатного инструмента при возвратно-поступательных движениях.

Из анализа полученных зависимостей установлено:

При $B = 0$ сек, то есть при отсутствии паузы, частота вращения заготовки до $n = 400$ об/мин обеспечивает получение геометрических параметров зубьев в пределах 7-й степени точности согласно ГОСТ 1643–81.

При $B = 0.1$ сек, при частотах вращения до $n = 250$ об/мин, также обеспечивается 7-я степень точности.

При $B = 0.2$ сек при повышении частоты вращения и выше, $n = 160$ об/мин достигается 6-я степень точности по ГОСТ 1643–81 (рис.1).

Таким образом, увеличение момента паузы инструмента оказывает стабилизирующее влияние на процесс формообразования зубьев, обеспечивая повышение качества финишной поверхности.

Экспериментальное подтверждение. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили результаты математического моделирования. При финишной обработке зубьев цилиндрических прямозубых колес шевром-прикатником было выявлено, что введение паузы в пределах $B = 0.1 - 0.2$ сек действительно повышает класс точности до 6-й степени по ГОСТ 1643–81.

Таким образом, установлено, что регулирование момента паузы инструмента может служить эффективным технологическим приемом повышения точности финишной обработки зубчатых колес при минимальных изменениях конструкции оборудования и управляющих алгоритмов.

Обсуждение

В процессе проведения экспериментальных исследований влияние скорости резания на шероховатости обработанной поверхности при чистовой механической обработки цилиндрических зубчатых колес шевром-прикатником инструментов изготовленных инструментальных сталей Р6М5 на разных режимах резания.

а. при режимах обработки частота вращения заготовки $n=700$ об/мин, $n=450$ об/мин, радиальной подачи инструмента $S = 0,02$ мм, на рабочий цикл, прерывистой подачи инструмента $S_{пр}=0,03$ мм наблюдалось отрицательное влияние на точность 6-7 степени точности ГОСТ1643-81, шероховатость обработанной поверхности в пределах $R_a = 1,6$ мкм.

б. при режиме обработки частоты вращения заготовки $n = 200$ об/мин, радиальной подачи инструмента $S = 0,02$ мм, на рабочий цикл, прерывистой подачи инструмента $S_{пр} = 0,03$ мм положительно влияет на качество обработки и является оптимальным вариантом обеспечения высокой точности обработки 6-степени по ГОСТ1643-81 и низкой шероховатостью обработанной поверхностей зубьев $R_a = 0,8$ мкм.

Полученные результаты математическом моделирование и проведенной экспериментальной исследования показывают, что момент паузы инструмента в конце возвратно-поступательного движения шевра-прикатника оказывает двойственное влияние:

а. с положительной стороны, увеличение паузы способствует снижению динамических колебаний и остаточных упругих деформаций, что улучшает геометрию профиля зуба и повышает точность обработки.

б. с отрицательной стороны, чрезмерная пауза может снижать производительность и вызывать неравномерность нагрузки на режущие кромки инструмента.

Тем не менее, в интервале $B = 0,1 - 0,2$ сек достигается оптимальный баланс между динамической устойчивостью процесса и качеством финишной поверхности.

Заключение

По результатом проведенных экспериментальных исследований и математической моделирование можно сделать следующее выводы:

— Метод финишной обработки цилиндрических зубчатых колес с применением обкатной инструмента (шевера-прикатника) изготовленной из инструментальной стали Р6М5 возможно применит на токарно универсальных станках с ЧПУ.

— При применение метода финишной обработки зубчатых колес с применением обкатного инструмента на токарно универсальных станках с ЧПУ является режимы обработки, частоты вращения заготовки $n=200$ об/мин, подачи врезание инструмента за цикл обработки $S = 0,03$ мм, на рабочий цикл, прерывистой подачи инструмента $S = 0,03$ мм, а также момент паузы обкатного инструмента при возвратно поступательной подачи $B = 0,2$ сек является оптимальным для получения высокой качество и низкой шероховатости обработанных поверхностей зубьев зубчатого колеса.

— Применение данную метод финишной обработки цилиндрических зубчатых колес возможно эффективно при больших количествах одноименных детали в партии.

Библиографический список

1. Маликов, А. А., Валиков, Е. Н., & Ямников, А. С. (2007). Прогрессивная технология зубообработки. Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, (4-3), 107-110.
2. Маликов, А. А., & Сидоркин, А. В. (2008). Шевингование прикатывание цилиндрических колес с круговыми зубьями. Известия Тульского государственного университета. Технические науки, (2), 69-75.
3. Мардонов, Б. Т. (2018). Управление точностью обработки эвольвентного профиля по высоте зуба колеса. Universum: технические науки, (8 (53)), 9-12.
4. Мардонов Б.Т. (2018). Исследование точности цилиндрических зубчатых колес, обработанных при различных установках обкатного инструмента (шевер-прикатника) // Научно-технический журнал ФерПИ. -Фергана, №3. С. 103-107.
5. Goutte, C., & Gaussier, E. (2005, March). A probabilistic interpretation of precision, recall and F-score, with implication for evaluation. In European conference on information retrieval (pp. 345-359). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
6. Anikeeva, O. V., Ivakhnenko, A. G., & Erenkov, O. Y. (2017). Modeling the influence of geometric errors of turning machine for accuracy machinable surface. Procedia Engineering, 206, 1127-1132.
7. Lohr, D. J., & Komogortsev, O. V. (2017, May). A comparison of smooth pursuit-and dwell-based selection at multiple levels of spatial accuracy. In Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (pp. 2760-2766).