

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 621.9.023:621.833

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ВНЕШНЕГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ УНИВЕРСАЛЬНОГО АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

Андрей Алексеевич Кузьменко¹, Дмитрий Сергеевич Макашин²✉

^{1, 2} Omsk State Technical University, Omsk, Russia

¹ aakuzmenko@st.omgtu.ru; <https://orcid.org/0009-0007-4910-6358>

² dima.makashin@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8297-5551>

Аннотация

В статье рассматривается проблема изготовления зубчатых колёс в условиях мелкосерийного и единичного производства. В работе предлагается использование для формообразования зубчатых колёс отрезного абразивного диска для угловых шлифовальных машин. Описаны две стратегии формообразования впадин зубчатых колёс внешнего зацепления: ступенчатое радиальное врезание и касательное врезание по эвольвенте. Эффективность предложенных стратегий оценивалась по площади остаточного припуска в торцевой плоскости колеса. В ходе исследования были смоделированы процессы обработки с использованием систе-

ма автоматизированного проектирования КОМПАС-3D для зубчатых колёс с модулем равным 2 мм и числами зубьев равными 90 или 19. Результаты исследования продемонстрировали, что вторая стратегия позволяет сократить число проходов обработки до двух раз. Полученные результаты подтверждают перспективность применения этого метода в условиях мелкосерийного и единичного производства.

Ключевые слова: зубчатые колёса, обработка, резание, инструмент, абразивный диск, формообразование, производство.

Ссылка для цитирования:

Кузьменко А.А. Формообразование зубчатых колес внешнего зацепления с применением универсального абразивного инструмента / А.А. Кузьменко, Д.С. Макашин // Транспортное машиностроение. – 2025. - № 7. – С. 19-26.

Original article

Open Access Article

SHAPING OF GEAR WHEELS WITH EXTERNAL ENGAGEMENT USING UNIVERSAL ABRASIVE TOOL

Andrey Alekseevich Kuzmenko¹, Dmitry Sergeevich Makashin²✉

^{1, 2} Omsk State Technical University, Omsk, Russia

¹ aakuzmenko@st.omgtu.ru; <https://orcid.org/0009-0007-4910-6358>

² dima.makashin@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8297-5551>

Abstract

The paper considers the problem of manufacturing gear wheels in conditions of small-scale and single-piece production. In order to shape gear wheels, it is proposed to use an abrasive cutting disc for angle grinders. Two strategies for shaping the slots of gear wheels with external engagement are described: step-wise radial plunging and tangential plunging along the involute. The effectiveness of the proposed strategies was estimated by the area of the residual allowance in the end plane of the wheel. During the study, treatment

processes were modeled using COMPASS-3D automated design system for gears with 2 mm modulus and tooth numbers of 90 or 19. The study results showed that the second strategy makes it possible to reduce the number of treatment passes by up to two times. The results obtained confirm the prospects of using this method in conditions of small-scale and single-piece production.

Keywords: gear wheels, treatment, cutting, tool, abrasive disc, shaping, production.

Reference for citing:

Kuzmenko AA, Makashin DS. Shaping of gear wheels with external engagement using universal abrasive tool. Transport Engineering. 2025;7:19-26. doi: 10.30987/2782-5957-2025-7-19-26.

Введение

Зубчатые колёса являются неотъемлемой частью механизмов и машин. От качества их изготовления зависит точность, правильность работы и долговечность узлов. В течение последнего десятилетия в отечественной сфере зубообработки не наблюдается существенных технологических изменений [1, 2]. Парк оборудования остаётся на прежнем уровне, а внедрение принципиально новых методов обработки практически отсутствует. Несмотря на наличие на рынке современных зарубежных станков, их приобретение в условиях текущей экономической ситуации сопряжено со значительными трудностями [3], поэтому на производственных предприя-

тиях продолжается эксплуатация устаревшего оборудования и инструментов [4, 5].

Особенно такая ситуация характерна для предприятий, специализирующихся на мелкосерийном и единичном производстве. В большинстве случаев небольшие компании не располагают специализированным зубообрабатывающим оборудованием, что вынуждает их либо отказываться от заказов на изготовление зубчатых колёс, либо передавать эти технологические операции на сторонние организации [6]. Все это приводит к усложнению производственного процесса и увеличению финансовых затрат [7].

Постановка задачи

В условии ограниченной доступности узкоспециализированного оборудования и инструмента в единичном производстве появляется необходимость поиска альтернативных технологических подходов. Одним из таких подходов является использование универсального режущего инструмента, который может обеспечить требуемое качество поверхности после обработки [8].

Цель работы состоит в исследовании перспективности применения отрезного абразивного инструмента в качестве альтернативного средства обработки зубчатых колес.

Гипотеза работы состоит в том, что использование отрезного абразивного инструмента позволит достичь требуемого качества обработанной поверхности профиля зубчатого колеса в условиях мелкосерийного и единичного производства.

Теория

Существует два основных традиционных метода обработки впадин зубчатых колёс: метод копирования и метод огибания (рис. 1) [9].

Метод копирования заключается в удалении припуска режущим инструментом, профиль которого геометрически соответствует форме впадины зубчатого колеса [10]. Обработка каждой впадины производится последовательно с применением механизма поворота заготовки на угол, соответствующий угловому шагу зубчатого колеса. К этому методу относятся такие виды обработки, как фрезерование пальцевыми или дисковыми модульными фрезами, шлифование профильными абразив-

ными кругами, зубострогание, зубопротягивание [11].

Метод огибания подразумевает снятие припуска в процессе согласованных между собой вращений режущего инструмента и заготовки. Инструмент с заготовкой благодаря, взаимосвязанным движением подач, воспроизводят обкат пары соединённых элементов зубчатой передачи. К этому методу относятся фрезерование червячными фрезами или фрезами-летучками, зубодолбление, строгание зуборезной рейкой, шлифование червячными или тарельчатыми абразивными кругами, шевингование [12, 13].

Для всех вышеперечисленных классических способов обработки нужен профильный режущий инструмент. Кроме этих методов в последнее время стала использоваться лазерная резка и электроэрэзационная обработка [14]. При использовании этих методов обработки геометрическая форма впадин зубчатых колёс образуется за счёт движения непрофильного инструмента по заданной криволинейной траектории [15]. Технологии лазерной резки и электроэрэзационной обработки из-за своей новизны описаны в научных работах в меньшей степени. Но по известным данным однозначно можно сказать, что лазер-

ная обработка имеет серьёзное ограничение в связи с зависимостью шероховатости рабочих поверхностей колеса от его высоты – допустимая шероховатость достигается лишь при высоте до 3 мм [16, 17]. Электроэрэзационная обработка позволяет достичь требуемых параметров шероховатости и точности обработанной поверхности, но при этом она характеризуется значительными временными затратами по сравнению с методами копирования и огибания. Несмотря на перспективность лазерной резки и электроэрэзационной обработки, эти технологии не эффективны в условиях мелкосерийного производства.

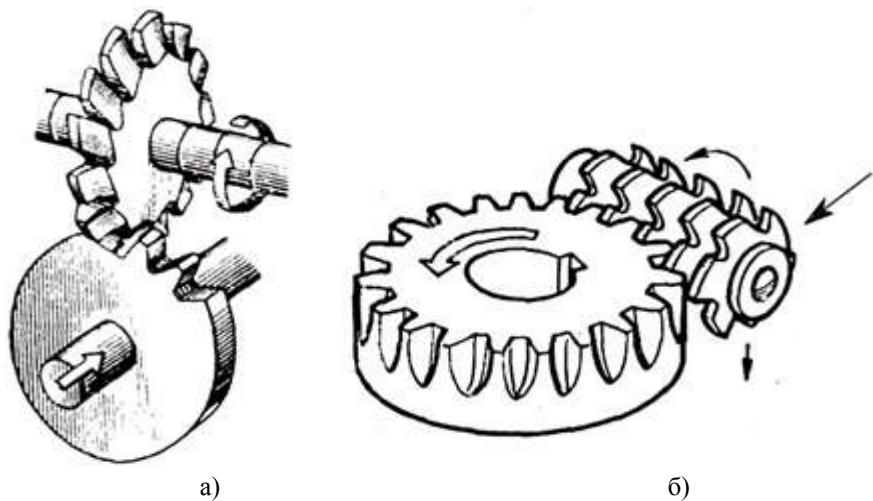


Рис. 1. Схемы нарезания зубчатых колес: а – методом копирования (дисковой модульной фрезой); б – методом огибания (червячной фрезой)
Fig. 1. Schemes of gear cutting: a) by copying method (disk modular milling cutter); b) by enveloping method (worm milling cutter)

Метод огибания позволяет достичь наилучших показателей точности обработанных зубчатых колёс. Однако, к недостаткам всех видов обработки по этому методу относится требуемое оборудование. Существующие устаревшие станки требуют высокой квалификации оператора и сложны в настройке, тогда как современные станки характеризуются высокой стоимостью. Кроме того, режущий инструмент (долбяки, червячные фрезы, шеверы и др.) предполагает наличие специального оборудования для его изготовления, а также имеет повышенные требования к точности и качеству рабочих поверхностей, что увеличивает затраты на его производство.

Обработка по методу копирования может производиться на универсальном оборудовании благодаря более простым движениям формообразования, но при этом необходим специальный инструмент, точно передающий геометрию профиля впадины. Например, фрезерование модульными фрезами требует наличия отдельной фрезы под конкретное число зубьев при заданном модуле [18]. На практике часто используют комплекты фрез, применяемые для диапазонов числа зубьев. За счёт этого увеличивается погрешность профиля впадины и снижается точность зацепления в паре колёс. Шлифование профильными абразивными кругами, в особенности при широкой номенклатуре

изделий, требует частой правки кругов, а соответственно и наличия специального механизма для осуществления правки.

В рамках исследования рассматривается возможность обработки впадин цилиндрических зубчатых колёс внешнего зацепления непрофильным режущим ин-

Проведение эксперимента и его результаты

В качестве режущего инструмента предлагается использовать отрезные абразивные диски диаметрами 125...150 мм и толщиной 1 мм, применяемые на угловых шлифовальных машинах. Отрезные диски из-за своей малой, по сравнению со стандартными шлифовальными кругами, круги с толщиной до 4 мм не обладают высокой жёсткостью. Работа таким инструментом требует точности, поскольку приложение к торцу диска нагрузки больше допустимой заводом производителем может привести к его сколу, отлому или разрыву, что неизбежно влечёт за собой повышение травматизма и снижение точности обработки.

Однако, эти последствия в основном актуальны при выполнении операций вручную, где влияние человеческого фактора является значительным. При отсутствии достоверной статистики можно предположить, что использование такого инструмента на автоматизированном оборудовании с числовым программным управлением не будет иметь вышеназванных последствий благодаря повышенной точности рабочих перемещений и базирования заготовки и режущего инструмента.

Предлагаемый метод обработки состоит из чернового и чистового этапа. На черновом этапе снимается основная масса припуска, на чистовом – достигаются необходимые требования точности и шероховатости обработанной поверхности. Поскольку торцевая нагрузка негативно сказывается на стойкости отрезного диска, необходимо использовать методику обработки периферией. Исходя из этого, для черновой обработки было предложено две схемы резания.

Для графического отображения предлагаемых схем формообразования обработанной поверхности использовалась библиотека «Валы и механические передачи»

струментом – отрезным абразивным кругом. Предполагается, что использование такого подхода может ускорить процесс обработки и снизить затраты, связанные с обеспечением производства режущим инструментом.

системы автоматизированного проектирования КОМПАС-3Д. Этот программный продукт позволяет осуществлять построение зубчатых и червячных колёс различных типов с правильным профилем впадин путём задания исходных данных зубчатой передачи или её составляющих.

Первая стратегия (рис. 2) заключается в последовательном снятии припуска перемещением заготовки вдоль оси инструмента с некоторым заданным шагом. Заготовка подводится в исходное положение первого прохода, производится шлифование по всей высоте зубчатого колеса, т. е. по всей длине зуба. Затем осуществляется смещение заготовки в следующее положение и проход по длине зуба, и так далее для каждого следующего смещённого положения.

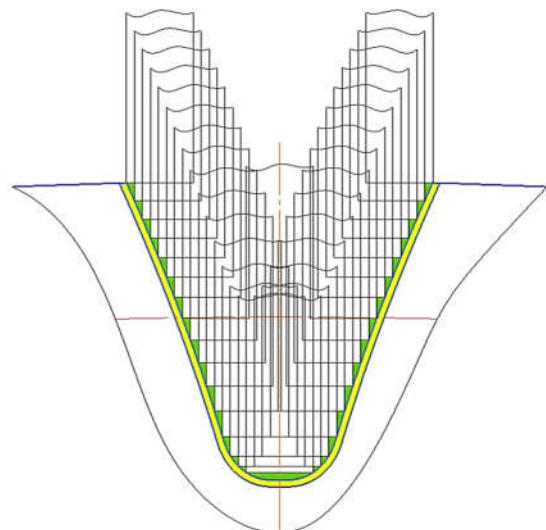


Рис. 2. Стратегия ступенчатого радиального врезания

Fig. 2. Stepped radial plunge strategy

Вторая стратегия (рис. 3) заключается в снятии припуска путём врезания в материал заготовки при таком положении круга, в котором поверхность его торца располагается касательно к боковой по-

верхности зуба. Заготовка поворачивается на определенный угол относительно оси впадины, смещается на определённое расстояние относительно торцевой поверхности диска и подводится к нему в исходное положение. Далее, аналогично первой стратегии, осуществляется снятие припуска вдоль всей высоты зуба. После этого выполняется обработка по касательной второй боковой поверхности.

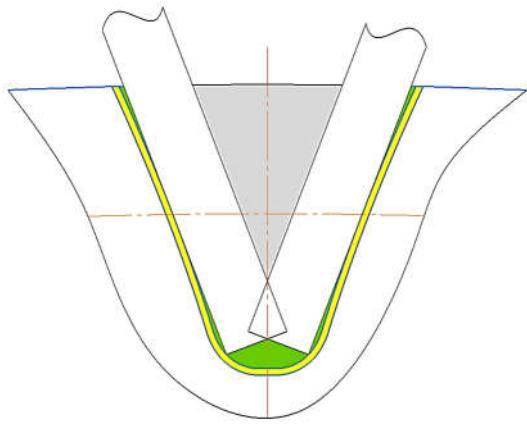


Рис. 3. Стратегия врезания касательно по эвольвенте
Fig. 3. Plunging strategy tangentially along the involute

В результате обработки по обеим стратегиям помимо изначально заложенного припуска на чистовую обработку имеет место остаточный припуск. Это вполне закономерно, поскольку непрофильный отрезной круг не может полностью воссоздать фасонную геометрию профиля впадины зубчатого колеса без его зарезания из-за накладываемого условия только периферийной обработки.

На рис. 2, 3 представлены схемы обработки впадины зубчатого колеса с выделением разных зон припуска. Жёлтым цветом обозначен припуск на чистовую обработку, зелёным – остаточный припуск. На рис. 3 серым цветом показана зона материала, не требующая дальнейшей обработки. При вертикальной установке заготовки эту массу материала не нужно сошлифовывать, потому как за счёт двух пересекающихся резов она удаляется за счёт собственного веса.

Для оценки эффективности предложенных схем формообразования процесса обработки был принят критерий площади остаточного припуска в торцевой плоскости зубчатого колеса. Путём графического моделирования в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D были определены значения остаточного припуска при реализации второй стратегии. Затем пробными построениями подбирался такой шаг смещения ступенчатой обработки, при котором площадь остаточного припуска будет того же порядка, что и при обработке касательно к боковым поверхностям зубьев.

В рамках исследования рассмотрены цилиндрические зубчатые колёса с модулем Экспериментальные данные (таблица) показывают, что с увеличением числа зубьев ба становится ближе к профилю зубчатой рейки, а кривизна его боковой поверхности уменьшается.

Таблица

Результаты анализа стратегий обработки

Table

Results of analyzing the processing strategies

Параметр		1 стратегия	2 стратегия
$m = 2 \text{ мм}, z = 90$	Общая площадь припуска на чистовую обработку, мм^2	12,382	
	Площадь остаточного припуска, мм^2	0,598	0,582
	% от общей площади	4,83	4,70
	Площадь необрабатываемого материала, мм^2		3,532
	% от общей площади	-	28,52
$m = 2 \text{ мм}, z = 19$	Число резов	31 (шаг 0,12 мм)	2
	Общая площадь припуска на чистовую обработку, мм^2	13,146	
	Площадь остаточного припуска, мм^2	1,163	1,189
	% от общей площади	8,85	9,04
	Площадь необрабатываемого материала, мм^2		3,679
	% от общей площади	-	27,99
	Число проходов	17 (шаг 0,27 мм)	2

Это приводит к снижению площади остаточного припуска при использовании второй стратегии, тогда как для первой стратегии требуется большее количество проходов с уменьшенным шагом смещения заготовки.

В случае, когда число зубьев приближается к минимальному значениювой стратегии уменьшается почти вдвое,

но остаётся значительно большим по сравнению с количеством операций при касательном врезании. При формообразовании по второй стратегии существенная часть припуска, растущая с увеличением модуля. Это увеличивает стойкость режущего инструмента и сокращает время обработки впадины зубчатого колеса.

Выводы

В исследовании представлен обзор существующих методов формообразования эвольвентного профиля зубчатых колёс, а также показаны их основные ограничения в условиях мелкосерийного производства. Было выдвинуто предположение о возможности применения для обработки зубьев нестандартного режущего инструмента,

а именно отрезного абразивного диска, предназначенного для угловых шлифовальных машин. Были предложены стратегии обработки, которые возможно осуществить с учётом особенностей самого инструмента и непосредственно обрабатываемых поверхностей, определена эффективность предложенных стратегий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- нурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т : справочник / В. И. Ануриев ; под редакцией И. Н. Жестковой. 11-е изд., стереотип. Москва : Машиностроение, 2021. 2816 с. - ISBN 978-5-907104-86-0. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/193015> (дата обращения: 05.05.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
- иновский, А. В. Исследование способа изготовления зубчатых колес с применением электроэрозионной обработки / А. В. Линовский // European Scientific Conference : сборник статей победителей IV Международной научно-практической конференции : в 3 ч., Пенза, 07 июня 2017 года. Том Часть 2. Пенза: «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г.Ю.), 2017. – С. 74-
- ожевникова, А. А. Альтернативные методы изготовления зубчатого колеса планетарного редуктора с внутренним зацеплением / А. А. Кожевникова, А. А. Шведуненко // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2021. № 1(248). С. 19-23. – DOI 10.13920/1991-6312-2021-1-19-23.
- еталлорежущие инструменты : учебник для вузов / Г. Н. Сахаров[и др.]. М. : Машиностроение, 328 с.
- екарчук, О. О. Технология изготовления и ее влияние на эксплуатационные характеристики зубчатых колес / О. О. Пекарчук // Вестник РГАТА имени П. А. Соловьева. 2021. № 4(59). С. 90-95. – EDN VDWVDE.
- еменченко, И. И. Проектирование металлоре-

жущих инструментов /И. И. Семенченко, В. М. Матюшин, Г. Н. Сахаров. М. : Машгиз, 1963. 952 с.

правочник инструментальщика / И. А. Ординарцев [и др.]; под общ.ред. И. А. Ординарцева. Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. 846 с.

еховцева, Е. В. Инновационный технологический процесс изготовления блока зубчатых колес газотурбинного двигателя / Е. В. Шеховцева // Труды МАИ. 2011. № 45. С. 29.

ехническая обработка зубчатых колес : учебное пособие / В. И. Жиганов, Ю. А. Сахно, В. В. Демидов, Е. Ю. Сахно. Ульяновск : УлГТУ, 134 с.

ормообразование конических зубчатых венцов с постоянным нормальным шагом колес передач с неэвольвентным зацеплением / А. Л. Мироненко, Н. В. Зубкова, Ю. Г. Гуцаленко [и др.] // Актуальные научные исследования в современном мире. 2020. № 3-7(59). С. 163-170.

араванова, А. Г. Выбор абразивного инструмента и режимов резания для повышения качества зубчатых колес и блоков шестерен / А. Г. Караванова // Главный механик. 2023. № 9. С. 544-553. – DOI 10.33920/pro-2-2309-03.

ахатакян, Ф. Г. Зависимость износа зубьев зубчатых колес от угла перекоса в зубчатых зацеплениях / Ф. Г. Нахатакян, Д. Ф. Нахатакян // Трение и износ. 2024. Т. 45, № 4. С. 335-342. –

ожевникова, А. А. Альтернативные методы изготовления зубчатого колеса планетарного редуктора с внутренним зацеплением / А. А. Кожевникова, А. А. Шведуненко // Известия Волго-

градского государственного технического университета. –2021. № 1(248). С. 19-23. – DOI

урушин, М. И. Параметрическая динамика дифференциального редуктора с одно- и двупарными зацеплениями зубчатых колес / М. И. Курушин, В. Б. Балыкин, В. Б. А. Оссиала // Вестник машиностроения. – 2020. № 3. С. 19-28. – DOI

современные методы технологии формообразования крупномодульных зубчатых колес / А. А. Ключко, А. О. Скоркин, Е. В. Камчатная-Степанова [и др.] // Znanstvena Misel. 2020. № 48-1(48). – С. 25-29.

унцов, А. С. Геометрия внутреннего зацепления колес планетарной передачи, нарезанных не-

стандартным зубодолбечным инструментом / А. С. Сунцов, А. В. Овсянников, Е. Ф. Вычужанина // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 2. С. 24-30. – DOI 10.22213/2413-

еофанов, А. Н. Универсальный алгоритм CAD-моделирования некруглых зубчатых колес по функции передаточного отношения / А. Н. Феофанов, А. Н. Соболев, А. С. Белоцкий // Вестник МГТУ «Станкин». 2022. № 2(61). С. 28-31.

чаев, П. Н. К вопросу изготовления цилиндрических зубчатых колес лазером / П. Н. Учаев, М. В. Райник // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2013. № 1. С. 66-70.

REFERENCES

1. Anuryev VI. Handbook of a mechanical engineering designer [Internet]. 11th ed. Moscow: Mashinostroenie; 2021 [cited 2025 May 05]. Available from: <https://e.lanbook.com/book/193015>
2. Linovsky AV. Investigation of the method of manufacturing gears using electroerosion treatment. Collection of Papers by Winners of the IV International Scientific and Practical Conference; Penza: Nauka I Prosveshchenie; 2017.
3. Kozhevnikova, AA, Shvedunenko AA. Alternative methods of manufacturing a gear wheel of a planetary gearbox with internal gearing. Izvestiya VSTU. 2021;1(248):19-23. DOI 10.35211/1990-5297-2021-1-248-19-23.
4. Sakharov GN. Metal-cutting tools: textbook for universities. Moscow: Mashinostroenie; 1989.
5. Pekarchuk OO. Manufacturing technology and its impact on the performance characteristics of gears. Vestnik RSATU. 2021;4(59):90-95.
6. Semenchenko II, Matyushin VM, Sakharov GN. Designing of metal-cutting tools. Moscow : Mashgiz; 1963.
7. Ordinartsev IA. Toolmaker's handbook. Leningrad: Mashinostroenie; 1987.
8. Shekhovtseva EV. Innovative technological process of manufacturing a block of gears of a gas turbine engine. Trudy MAI. 2011;45:29.
9. Zhiganov VI, Sakhno YuA, Demidov VV, Sakhno EYu. Mechanical treatment of gears: textbook. Ulyanovsk: UISTU; 2011.
10. Mironenko AL, Zubkova NV, Gutsalenko YuG. Shaping of conical gear rings with a constant normal pitch of gear wheels with non-involute gearing. Actual Scientific Research in the Modern World. 2020;3-7(59):163-170.
11. Karavanova AG. Choice of abrasive tools and cutting modes to improve the quality of gears and gear blocks. Chief Mechanical Engineer. 2023;9:544-553. DOI 10.33920/pro-2-2309-03
12. Nakhatakyan FG, Nakhatakyan DF. Dependence of tooth wear on the angle of misalignment in gears. Friction and Wear. 2024;45(4):335-342. DOI 10.32864/0202-4977-2024-45-4-335-342.
13. Kozhevnikova AA, Shvedunenko AA. Alternative methods of manufacturing a gear wheel of a planetary gearbox with internal gearing. Izvestiya VSTU. 2021;1(248):19-23. DOI 10.35211/1990-5297-2021-1-248-19-23.
14. Kurushin MI, Balyakin VB, Ossiala VBA. Parametric dynamics of a differential reducer with one- or two-pair gearing of wheels. Vestnik Mashinostroeniya. 2020;3:19-28. DOI 10.36652/0042-4633-2020-3-19-28.
15. Klochko AA, Skorkin AO, Kamchatnaya-Stepanova EV. Modern methods of forming technology for large-module gears. Znanstvena Misel. 2021; 48-1(48):25-29.
16. Suntsov AS, Ovsyannikov AV, Vychuzhanina EF. Geometry of the internal engagement of planetary gear wheels cut with a non-standard tooth-cutting tool. Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikov. 2020; 23(2):24-30. DOI 10.22213/2413-1172-2020-2-24-30.
17. Feofanov AN, Sobolev AN, Belotsky AS. Universal algorithm of CAD modeling of non-circular gears according to the gear ratio function. Vestnik MSTU "Stankin". 2022;2(61):28-31.
18. Uchaev PN, Rainik MV. On the issue of manufacturing cylindrical gears with a laser. Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technology. 2013;1:66-70.

Информация об авторах:

Кузьменко Андрей Алексеевич – студент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Машиностроительного факультета Омского государственного технического университета (ОмГТУ),

тел.: 8-913-965-35-77.

Макашин Дмитрий Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» ФГБОУ ВПО «Омск

ского государственного технического университета».

Kuzmenko Andrey Alekseevich – Student of the Department of Metal-cutting Machines and Tools, Faculty of Mechanical Engineering, Omsk State Technical University (OmSTU), phone: 8-913-965-35-77.

Makashin Dmitry Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Metal-Cutting Machines and Tools, Omsk State Technical University,

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 27.05.2025; одобрена после рецензирования 02.06.2025; принята к публикации 26.06.2025. Рецензент – Нагоркин М.Н. доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета.

The article was submitted to the editorial office on 27.05.2025; approved after review on 02.06.2025; accepted for publication on 26.06.2025. The reviewer is Nagorkin M.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University.



**Продолжается подписка на научно-технический журнал
«Транспортное машиностроение» на 2025 год**

Подписку на журнал можно оформить в любом почтовом отделении или непосредственно в редакции журнала. Подписные индексы по интернет-каталогу «Пресса по подписке» – Э80859 – и Объединенному каталогу «Пресса России» – 80859.

Стоимость подписки на минимальный срок – от 4846 руб.

Информация об опубликованных статьях регулярно направляется в систему Российского индексирования (РИНЦ) – <https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=79505>.

Сайт электронной редакции журнала: <https://bstu.editorum.ru/ru/nauka/journal/169/view>
E-mail: trans-eng@tu-bryansk.ru.

Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук (категория К2) по группам научных специальностей:

- 2.5. Машиностроение (2.5.2; 2.5.3; 2.5.5; 2.5.6; 2.5.8),
- 2.6. Химические технологии, науки о материалах, металлургия (2.6.1; 2.6.17),
- 2.9. Транспортные системы (2.9.1; 2.9.3; 2.9.5).