

УДК 621.9.07

Исследование шероховатости поверхности зубьев при формообразовании гиперболоидными накатниками

О.С. Витренко¹, О.В. Шарков^{1,2}¹ Калининградский государственный технический университет² Балтийский федеральный университет им. И. Канта

Research of the surface roughness of teeth during forming with hyperboloid knurling tools

O.S. Vitrenko¹, O.V. Sharkov^{1,2}¹ Kaliningrad State Technical University² Immanuel Kant Baltic Federal University

Формообразование эвольвентных зубьев с помощью накатников является высокопроизводительной технологией производства зубчатых колес, обеспечивающей упрочнение рабочей поверхности зуба в сочетании с их окончательной отделкой. Применение в качестве формообразующего инструмента гиперболоидных накатников позволяет уменьшить основные недостатки традиционных технологий накатки зубьев. Приведены результаты экспериментального исследования влияния конструктивных и технологических параметров процесса накатки зубчатых колес гиперболоидным накатником на характер изменения и шероховатость рабочих поверхностей зубьев. Процесс накатки реализован на зубофрезерном станке 5Д32. Для измерения шероховатости использован профилограф-профилометр Talysurf 5 System. Исследуемым параметром являлась шероховатость рабочей поверхности изготовленных накаткой зубьев, независимыми параметрами — делительный диаметр накатника, усилие накатки и исходный параметр шероховатости. Установлено, что в зависимости от эксплуатационного назначения зубчатых передач путем варьирования усилия накатки можно обеспечить изменение шероховатости рабочей поверхности зубьев в широком диапазоне (0,025...0,80 мкм). Использование для формообразования зубьев накатников разного диаметра позволяет изменять параметр шероховатости в 1,19–6,0 раз. По результатам обработки экспериментальных результатов получена эмпирическая зависимость, описывающая взаимосвязь параметра шероховатости с конструктивно-технологическими параметрами процесса формообразования зубьев гиперболоидным накатником.

EDN: CQFELU, <https://elibrary/cqfelu>

Ключевые слова: качество рабочих поверхностей, зубчатое колесо, пластическое деформирование, натурный эксперимент, накатка зубьев, гиперболоидный накатник

The use of knurling tools in the formation of involute teeth is a high-performance technology for the production of gears, which makes it possible to ensure strengthening of the working surface of the tooth in combination with their final finishing. The use of hyperboloid knurling tools as a forming tool makes it possible to reduce the main disadvantages of traditional tooth knurling technologies. The paper presents experimental results of a research of the effect of design and technological parameters of the process of knurling gears with a hyperboloid knurl on the nature of the change and the value of the roughness of the working

surfaces of the teeth. The process of rolling the samples under research was carried out on a gear hobbing machine model 5D32. To measure the roughness, a Talysurf 5 System profilometer was used. The roughness of the working surface of the teeth produced by knurling was taken as the parameter under research; the independent parameters were the pitch diameter of the knurls, the knurling force, and the initial roughness. It has been established that, depending on the operational purpose of the gears, by varying the knurling force it is possible to ensure a change in the roughness of the working surface of the teeth in a wide range from 0.025 to 0.8 microns. The use of knurling knurls of various diameters for forming teeth makes it possible to change the roughness value by 1.19...6.0 times. Processing of experimental results made it possible to obtain an empirical relationship describing the relationship between the roughness value and the design and technological parameters of the process of forming teeth with a hyperboloid knurl.

EDN: CQFELU, <https://elibrary/cqfelu>

Keywords: work surfaces quality, gear, plastic deformation, full-scale experiment, teeth knurling, hyperboloid knurling tool

Накатка — современная высокопроизводительная технология формообразования зубьев, применяемая при изготовлении зубчатых колес. Методом холодного накатывания изготавливают зубчатые колеса с модулем до 1,5...2,0 мм (допускается до 4,0 мм), методом горячего накатывания — до 10 мм. Точность накатки зубьев колес в основном зависит от накатного инструмента. Существует большое количество таких инструментов и способов накатки зубьев [1–6].

Чаще всего применяют накатники на базе цилиндрического основного червяка как наиболее простые в изготовлении. Однако они имеют такие недостатки, как сложность конструкции оснастки и приспособлений, недостаточная производительность и необходимость дополнительной механической обработки поверхности зубьев, что резко снижает эффект от предыдущей операции накатки.

Качество изготовления зубьев можно повысить применением новых конструкций накатников на базе гиперболического основного червяка — гиперболических накатников (ГН) [7–9].

Основными геометрическими параметрами ГН являются число заходов витков (зубьев) z_1 , угол их захода γ_1 , нормальный модуль m_n и делительный диаметр в наименьшем (горловом) сечении гиперболического червяка d_d .

При накатке зубьев (рис. 1) ГН устанавливают на шпинделе станка так, чтобы оси ГН и заготовки скрещивались в пространственном станочном зацеплении под углом ψ , который зависит от геометрических параметров ГН. При изготовлении зубьев ГН перемещается только с осевой S_1 (вдоль оси заготовки) подачи. ГН вращается с угловой скоростью ω_1

(главное движение), а заготовка — ω_2 (движение деления).

Применение ГН для изготовления зубьев позволяет в значительной степени совместить технологические операции упрочнения рабочей поверхности зуба за счет пластического деформирования с окончательной отделкой. Параметр шероховатости обработанной поверхности зуба при холодной накатке $Ra = 0,04...0,63$ мкм.

Кроме того, использование только одной подачи обеспечивает резкое повышение производительности рабочего процесса, так как позволяет осуществлять накатку сразу нескольких зубчатых колес с одной установки (пакетная накатка).

Вопросы теории синтеза геометрических параметров ГН для формообразования эвольвентных зубьев рассмотрены в работе [9].

Одним из важных параметров качества рабочей поверхности зубьев, определяющим их

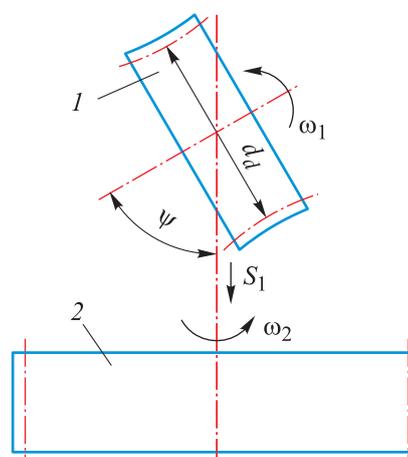


Рис. 1. Схема накатки зубьев:
1 — ГН; 2 — заготовка

работоспособность, является шероховатость [10–15]. В то же время оценка влияния характеристик технологического процесса и гиперболического формообразующего инструмента на качество рабочих поверхностей накатываемых зубьев теоретическими методами представляет собой сложную, а в ряде случаев неразрешимую задачу.

Цель работы — экспериментальное исследование влияния конструктивных параметров ГН и технологических параметров процесса накатки на качество рабочих поверхностей зубьев.

Материалы и методы. При проведении натурального эксперимента использован ГН, выполненный из быстрорежущей стали Р6М5 твердостью 61...63 HRC. Конструктивные характеристики ГН: число заходов витков $z_1 = 17$; угол захода витков $\gamma_1 = 16^\circ$; нормальный модуль $m_n = 1,5$ мм; делительный диаметр $d_d = 37,50$; 54,42 и 72,15 мм; параметр шероховатости рабочей поверхности $Ra = 0,25$ мкм.

Накатку выполняли путем обработки предварительно нарезанных цилиндрических прямозубых колес 8-й степени точности со следующими параметрами: число зубьев $z_2 = 100$; нормальный модуль $m_n = 1,5$ мм; исходный параметр шероховатости $Ra^* = 0,25...3,00$ мкм; материал — сталь 45 твердостью 280...320 НВ.

Технологический процесс накатки реализовывали на зубофрезерном станке 5Д32 без модернизации, имеющем достаточную жесткость для проведения эксперимента. При накатке зубчатых колес применяли водосмешиваемую смазочно-охлаждающую жидкость Укринал-1 (ТУ 0258-016-23693454–2009).

В качестве зависимого (исследуемого) параметра выступал параметр шероховатости рабочей поверхности зубьев после накатки, независимыми параметрами являлись делительный диаметр ГН, усилие накатки и исходный параметр шероховатости.

Для измерения шероховатости рабочей поверхности использовали профилограф-профилометр Talysurf 5 System.

Результаты и обсуждение. Влияние усилия накатки и делительного диаметра ГН на параметр шероховатости поверхностей обработанных зубьев показано на рис. 2, где точки — экспериментальные данные, кривые — результаты расчета по эмпирической зависимости (1).

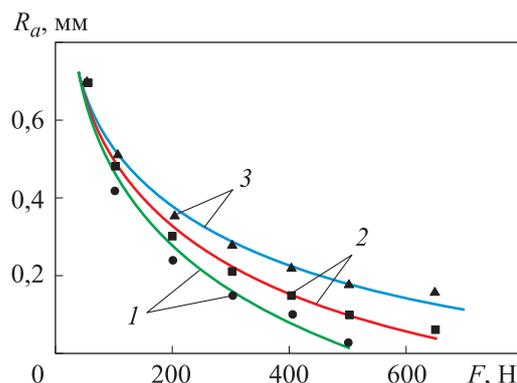


Рис. 2. Экспериментальные (точки) и расчетные (кривые) зависимости параметра шероховатости поверхностей обработанных зубьев Ra от усилия накатки F при делительном диаметре $d_d = 37,50$ (1), 54,42 (2) и 72,15 мм (3)

Видно, что с увеличением усилия накатки происходит повышение качества рабочих поверхностей зубьев — уменьшение параметра шероховатости. Характер изменения шероховатости при усилии $F = 50...300$ Н является нелинейным, но при дальнейшем увеличении нагрузки становится близким к линейному.

Такая закономерность изменения параметра шероховатости хорошо согласована с физической природой контактного взаимодействия поверхностей. При увеличении усилия накатки происходит сближение контактирующих поверхностей и пластическое деформирование микронеровностей, что вызывает уменьшение шероховатости. Сближение контактирующих поверхностей определяется выражением [16–18]

$$\delta = cF^m,$$

где c — коэффициент, зависящий от геометрических параметров поверхности и свойств материала; F — нагрузка; m — показатель степени.

Таким образом, параметр шероховатости будет обратно пропорционален сближению контактирующих поверхностей, что и показывают результаты эксперимента (рис. 2).

В работах [16, 17, 19–22] подтверждена значительная доля пластической деформации микропрофиля при начальной нагрузке.

По результатам статистической обработки результатов эксперимента (см. рис. 2) получена эмпирическая зависимость [23], которая связывает параметр шероховатости обработанных зубьев с конструктивными характеристиками

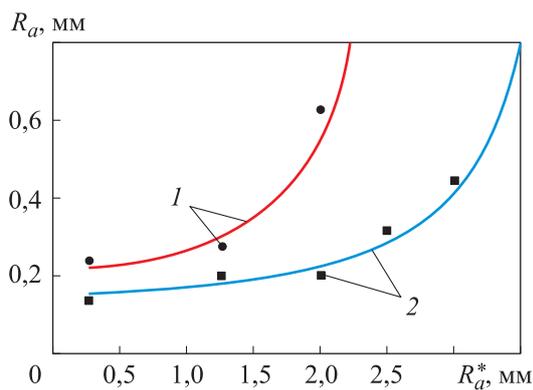


Рис. 3. Экспериментальные (точки) и расчетные (кривые) зависимости параметра шероховатости поверхностей обработанных зубьев R_a от исходного параметра шероховатости R_a^* при усилиях накатки $F = 400$ (1) и 500 Н (2)

ГН и силовыми параметрами технологического процесса накатки следующим образом:

$$Ra = 2,029 - 0,00731d_a - 0,353 \ln F + 0,00196d_a \ln F. \quad (1)$$

Эмпирическая зависимость (1) описывает взаимосвязь исследуемых параметров с коэффициентом корреляции $R = 0,991 \dots 0,999$ и стандартной ошибкой 2,4...3,7 %.

Следует отметить, что зависимость (1) позволяет оценивать шероховатость рабочей поверхности зубьев в принятом диапазоне изменения независимых параметров.

Влияние исходного параметра шероховатости заготовки и усилия накатки на параметр шероховатости поверхностей обработанных зубьев показано на рис. 3, где точки — экспериментальные данные, кривые — результат их аппроксимации в среде MathCAD. Отделочную

обработку предварительно нарезанных зубьев проводили ГН с делительным диаметром $d_d = 72,15$ мм.

Наибольшее уменьшение параметра шероховатости поверхности после накатки наблюдается при исходном параметре $Ra^* > 0,25$ мкм.

При $Ra^* = 0,50$ мкм параметр шероховатости обработанных зубьев снижается в 2,14–3,33 раза, а при $Ra^* = 2,00$ мкм — в 3,6...8,9 раза. Увеличение усилия накатки с 400 до 500 Н (в 1,25 раза) позволяет снизить параметр шероховатости Ra в 1,46...2,6 раза и более.

Такой характер изменения шероховатости обусловлен лучшей возможностью пластического деформирования микронеровностей поверхности с большей исходной шероховатостью.

Выводы

1. Применение ГН позволяет получать эвольвентные зубья с шероховатостью рабочих поверхностей, соответствующей 7-й степени точности по ГОСТ 1643–81 (Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски).

2. Предложенная эмпирическая зависимость дает возможность на стадии разработки технологической операции накатки зубьев оценить влияние диаметра ГН и усилия накатки на шероховатость рабочих поверхностей.

3. Использование ГН позволяет при одинаковой исходной шероховатости предварительно изготовленных зубьев варьировать получаемый параметр шероховатости поверхностей в широких пределах путем незначительного изменения усилия накатки.

Литература

- [1] Буянов А.С., Виноградов В.М., Черпахин А.А. Выбор наиболее рациональной схемы холодного профильного накатывания зубьев. *Известия МГТУ МАМИ*, 2011, № 1, с. 132–136.
- [2] Воробьев А.А., Будюкин А.М., Кондратенко В.Г. Анализ современных технологий при изготовлении зубчатых колес локомотивов. *Новые материалы и технологии в машиностроении*, 2019, № 30, с. 7–11.
- [3] Востров В.Н., Кузнецов П.А., Новиков А.В. и др. Накатывание внутренних эвольвентных зубьев на порошковых спеченных заготовках. *Металлообработка*, 2016, № 3, с. 26–32.
- [4] Лапин В.В., Писаревский М.И., Самсонов В.В. и др. *Накатывание резьб, червяков, шлицев и зубьев*. Ленинград, Машиностроение, 1986. 227 с.
- [5] Trifan N., Ciobanu R., Ciobanu O. Generation of precessional gear teeth by plastic deformation. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2021, vol. 1009, art. 012057, doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1009/1/012057>

- [6] Solonitsyn V.M., Taratynov O.V., Klepikov V.V. High-productivity manufacturing process for the gear profile of gearbox clutches. *Russ. Engin. Res.*, 2010, vol. 30, no. 6, pp. 651–653, doi: <https://doi.org/10.3103/S1068798X10060286>
- [7] Витренко В.А., Ефимов А.А., Михайлова А.Д. и др. Совершенствование схемы формообразования накатного инструмента. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*, 2024, № 6, с. 5–13, doi: <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2024-6-5-13>
- [8] Кузьменко Н.Н., Михайлова А.Д. Некоторые геометро-кинематические параметры процесса накатки зубьев цилиндрических зубчатых колес при помощи многозаходных гиперболоидных накатников. *Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля*, 2023, № 9, с. 156–158.
- [9] Витренко О.С. Методика выбора геометрии накатного инструмента в зависимости от геометро-кинематических параметров накатки. *Известия КГТУ*, 2018, № 49, с. 241–248.
- [10] Пивкин П.М., Гречишников В.А., Ершов А.А. и др. Фундаментальные основы формирования микрорельефа поверхности дисковыми фрезами при высокоскоростном многокоординатном фрезеровании. *СТИН*, 2022, № S12–2, с. 21–24.
- [11] Махаринский Ю.Е., Латушкин Д.Г., Путеев Н.В. Исследование влияния параметров технологических процессов при финишной обработке зубчатых колес на показатели качества. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2018, № 1, с. 33–41.
- [12] Горбунов А.С., Макаров В.Ф., Ворожцова Н.А. Формирование параметров качества поверхностного слоя зубьев спирально-конических шестерен с учетом влияния технологической наследственности. *Научные технологии в машиностроении*, 2015, № 4, с. 40–47.
- [13] Yuqin W., Wei Z., Jinyuan T. Research on the correlation between roughness parameters and contact stress on tooth surfaces and its dominant characteristics. *Measurement*, 2024, vol. 238, art. 115399, doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.115399>
- [14] Fabre D., Bonnet C., Rech J. et al. Optimization of surface roughness in broaching. *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.*, 2017, vol. 18, pp. 115–127, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2016.10.006>
- [15] Ming X., Gao Q., Yan H. et al. Mathematical modeling and machining parameter optimization for the surface roughness of face gear grinding. *The Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2017, vol. 90, no. 9–12, pp. 2453–2460, doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9576-2>
- [16] Левина З.М., Решетов Д.Н. *Контактная жесткость машин*. Москва, Машиностроение, 1971. 264 с.
- [17] Тихомиров В.П., Измеров М.А. Влияние волнистости и шероховатости поверхности на нормальную контактную жесткость плоского стыка. *Вестник Брянского государственного технического университета*, 2019, № 12, с. 4–12, doi: <https://doi.org/10.30987/1999-8775-2019-2019-12-4-12>
- [18] Маликов А.А., Ямникова О.А., Чечуга О.В. Моделирование влияния характеристик поверхностного слоя на контактную жесткость стыков деталей машин. *Известия ТулГУ. Технические науки*, 2017, № 8–1, с. 282–293.
- [19] Чулков И.И., Милов А.Б. Исследование радиальной податливости цилиндрических стыков. *Труды РКИИГА им. Ленинского комсомола*, 1972, № 238, с. 3–19.
- [20] Han J., Zheng W., Wang G. Investigation of influence factors on surface roughness of micro-scale features. *Precis. Eng.*, 2019, vol. 56, pp. 524–529, doi: <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2019.02.010>
- [21] Konowalski K. Experimental research and modeling of normal contact stiffness and contact damping of machined joint surfaces. *AMST*, 2009, vol. 33, no. 3, pp. 53–68.
- [22] Zhao G., Li Y., Zhang Z. et al. Simulation and experiment of secondary contact stiffness of rough surface. *J. Mech. Sci. Technol.*, 2022, vol. 36, no. 1, pp. 1079–1087, doi: <https://doi.org/10.1007/s12206-022-0201-z>
- [23] Львовский Е.Н. *Статистические методы построения эмпирических формул*. Москва, Высшая школа, 1988. 239 с.

References

- [1] Buyanov A.S., Vinogradov V.M., Cherepakhin A.A. Choice of the most rational circuit of a cold profile rolling of teeth. *Izvestiya MGTU MAMI*, 2011, no. 1, pp. 132–136. (In Russ.).
- [2] Vorobyev A.A., Budyukin A.M., Kondratenko V.G. Analysis of modern technologies in the manufacture of locomotive gears. *Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii* [New Materials and Technologies in Engineering], 2019, no. 30, pp. 7–11. (In Russ.).
- [3] Vostrov V.N., Kuznetsov P.A., Novikov A.V. et al. Internal rolling the involute teeth on powder sintered body. *Metalloobrabotka* [Metalworking], 2016, no. 3, pp. 26–32. (In Russ.).
- [4] Lapin V.V., Pisarevskiy M.I., Samsonov V.V. et al. *Nakatyvanie rezb, chervyakov, shlitsev i zubyev* [Threading of threads, worms, splines and teeth]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1986. 227 p. (In Russ.).
- [5] Trifan N., Ciobanu R., Ciobanu O. Generation of precessional gear teeth by plastic deformation. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2021, vol. 1009, art. 012057, doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1009/1/012057>
- [6] Solonitsyn B.M., Taratynov O.V., Klepikov V.V. High-productivity manufacturing process for the gear profile of gearbox clutches. *Russ. Engin. Res.*, 2010, vol. 30, no. 6, pp. 651–653, doi: <https://doi.org/10.3103/S1068798X10060286>
- [7] Vitrenko V.A., Efimov A.A., Mikhaylova A.D. et al. Perfection of rolling tool formation scheme. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kuzbass State Technical University], 2024, no. 6, pp. 5–13, doi: <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2024-6-5-13> (in Russ.).
- [8] Kuzmenko N.N., Mikhaylova A.D. Some geometric-kinematic parameters of the process of cylindrical gear teeth rolling with the help of multiturn hyperboloidal knurlers multi-turn hyperboloid knurlers. *Vestnik Luganskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Vladimira Dalya* [Vestnik Lugansk Vladimir Dahl State University], 2023, no. 9, pp. 156–158. (In Russ.).
- [9] Vitrenko O.S. Methodology for selecting geometry of a knurling instrument depending on geometric-kinematic parameters of knurling. *Izvestiya KGTU* [KSTU NEWS], 2018, no. 49, pp. 241–248. (In Russ.).
- [10] Pivkin P.M., Grechishnikov V.A., Ershov A.A. et al. Fundamental bases of surface microrelief formation by disk milling cutters during high-speed multi-axis milling. *STIN*, 2022, no. S12–2, pp. 21–24. (In Russ.).
- [11] Makharinskiy Yu.E., Latushkin D.G., Puteev N.V. Investigation of the influence of parameters of technological processes during gear finishing on the quality indicators. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* [Vestnik of Vitebsk State Technological University], 2018, no. 1, pp. 33–41. (In Russ.).
- [12] Gorbunov A.S., Makarov V.F., Vorozhtsova N.A. Formation of quality parameters of surface layer of teeth of spiral bevel gears taking into account influence of technological heredity. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii* [Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering], 2015, no. 4, pp. 40–47. (In Russ.).
- [13] Yuqin W., Wei Z., Jinyuan T. Research on the correlation between roughness parameters and contact stress on tooth surfaces and its dominant characteristics. *Measurement*, 2024, vol. 238, art. 115399, doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.115399>
- [14] Fabre D., Bonnet C., Rech J. et al. Optimization of surface roughness in broaching. *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.*, 2017, vol. 18, pp. 115–127, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2016.10.006>
- [15] Ming X., Gao Q., Yan H. et al. Mathematical modeling and machining parameter optimization for the surface roughness of face gear grinding. *The Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2017, vol. 90, no. 9–12, pp. 2453–2460, doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9576-2>
- [16] Levina Z.M., Reshetov D.N. *Kontaktная zhestkost mashin* [Contact stiffness of machines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1971. 264 p. (In Russ.).
- [17] Tikhomirov V.P., Izmerov M.A. Impact of corrugation and roughness of surface upon normal contact stiffness of flat joint. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Bryansk State Technical University], 2019, no. 12, pp. 4–12, doi: <https://doi.org/10.30987/1999-8775-2019-2019-12-4-12> (in Russ.).

- [18] Malikov A.A., Yamnikova O.A., Chechuga O.V. Modeling the effect of characteristics surface layer on contact hardness of details of machine parts. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki* [News of the Tula State University. Technical Sciences], 2017, no. 8–1, pp. 282–293. (In Russ.).
- [19] Chulkov I.I., Milov A.B. Investigation of radial pliability of cylindrical joints. *Trudy RKIIGA im. Leninskogo komsomola*, 1972, no. 238, pp. 3–19. (In Russ.).
- [20] Han J., Zheng W., Wang G. Investigation of influence factors on surface roughness of micro-scale features. *Precis. Eng.*, 2019, vol. 56, pp. 524–529, doi: <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2019.02.010>
- [21] Konowalski K. Experimental research and modeling of normal contact stiffness and contact damping of machined joint surfaces. *AMST*, 2009, vol. 33, no. 3, pp. 53–68.
- [22] Zhao G., Li Y., Zhang Z. et al. Simulation and experiment of secondary contact stiffness of rough surface. *J. Mech. Sci. Technol.*, 2022, vol. 36, no. 1, pp. 1079–1087, doi: <https://doi.org/10.1007/s12206-022-0201-z>
- [23] Lvovskiy E.N. *Statisticheskie metody postroeniya empiricheskikh formul* [Statistical methods for constructing empirical formulas]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1988. 239 p. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 29.01.2025

Информация об авторах

ВИТРЕНКО Ольга Сергеевна — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Теория механизмов и машин и детали машин». ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» (236022, Калининград, Российская Федерация, Советский пр-т, д. 1, e-mail: olga.vitrenko@klgtu.ru).

ШАРКОВ Олег Васильевич — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Теория механизмов и машин и детали машин». ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» (236022, Калининград, Российская Федерация, Советский пр-т, д. 1, e-mail: oleg.sharkov@klgtu.ru); профессор института Высоких технологий. ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта» (236016, Калининград, Российская Федерация, ул. А. Невского, д. 14, e-mail: osharkov@kantiana.ru).

Information about the authors

VITRENKO Olga Sergeevna — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Associate Professor Department of Theory of Mechanisms and Machines and Machine Parts. Kaliningrad State Technical University (236022, Kaliningrad, Russian Federation, Sovetsky Ave., Bldg. 1, e-mail: olga.vitrenko@klgtu.ru).

SHARKOV Oleg Vasil'yevich — Doctor of Science (Eng.), Associate Professor, Professor of Department of Theory of Mechanisms and Machines and Machine Parts. Kaliningrad State Technical University (236022, Kaliningrad, Russian Federation, Sovetsky Ave., Bldg. 1, e-mail: oleg.sharkov@klgtu.ru); Professor of the High Technologies Institute. Immanuel Kant Baltic Federal University (236016, Kaliningrad, Russian Federation, A. Nevskogo, St., Bldg. 14, e-mail: osharkov@kantiana.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Витренко О.С., Шарков О.В. Исследование шероховатости поверхности зубьев при формообразовании гиперболоидными накатниками. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2025, № 12, с. 27–33.

Please cite this article in English as:

Vitrenko O.S., Sharkov O.V. Research of the surface roughness of teeth during forming with hyperboloid knurling tools. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2025, no. 12, pp. 27–33.