

УДК 621.92

DOI 10.18698/0536-1044-2016-12-79-86

Нестабильность глубины резания при шлифовании зубьев зубчатых колес методом копирования

Н.М. Расулов, Е.Т. Шабиев

Азербайджанский технический университет, AZ1073, Баку, Азербайджан, пр. Г. Джавида, д. 25

Instability of Cutting Depth when Grinding Gearwheel Teeth by Copying

N.M. Rasulov, E.T. Shabiev

Azerbaijan Technical University, AZ1073, Baku, Azerbaijan, H. Javid Ave., Bldg. 25

@ e-mail: nariman.rasulov@yahoo.com, shebiyev@list.ru

i При шлифовании зубьев зубчатых колес методом копирования глубина резания по профилю зуба получается неравномерной, что снижает эффективность процесса. Одним из направлений повышения эффективности шлифования зубьев может быть обеспечение стабильности фактической глубины резания при шлифовании посредством управления влияющими на нее факторами. Выполнен анализ влияния на точность шлифования некоторых субъективных факторов, связанных с организацией и проведением зубоформирования, имеющих относительно большие значения. Исследовано изменение глубины резания по профилю при стабильности припуска на обработку. Выявлены функциональные связи между фактической глубиной резания и влияющими на нее факторами при шлифовании зубьев методом копирования, а также пути управления этими связями. Получена и проанализирована система уравнений для определения изменения глубины резания на любом участке профиля зуба зубчатого колеса, соответствующего эвольвентному углу. Показаны направления обеспечения относительно равномерного распределения глубины резания по профилю зуба. Предложено шлифовать зубья, имеющие относительно высокий угол наклона.

Ключевые слова: шлифование, глубина резания, эвольвентный профиль, абразивный круг, метод копирования, припуск.

i When grinding gearwheel teeth by copying, the cutting depth of the tooth profile becomes uneven, thus reducing the process efficiency. One of the ways to increase the efficiency of grinding is to ensure the stability of the actual cutting depth by controlling the influencing factors. The analysis of influence of certain subjective factors on the accuracy of grinding is performed. These factors are related to the organization and implementation of the teeth formation process, and are quite significant. The change in the cutting depth of the profile with a stable machining allowance is studied. Functional relations are established between the actual cutting depth and the influencing factors in teeth grinding by copying, as well as the ways to control these relations. The authors obtain and analyze a system of equations for determining the change in the cutting depth at any part of the gear tooth profile corresponding to the involute angle. The ways to ensure relatively even distribution of the cutting depth along the tooth profile are identified. Grinding teeth that have a relatively high inclination angle is proposed.

Keywords: grinding, cutting depth, involute profile, abrasive wheel, copying method, allowance.

В условиях современной рыночной экономики эксплуатационные показатели качества изделий имеют первостепенное значение. У любого технического средства (в том числе и у зубчатой передачи) эти показатели определяются качеством изготовления изделия в целом и его отдельных элементов [1–6].

Зубчатые детали и передачи, широко применяемые в различных машинах и агрегатах [1–7], должны иметь высокие эксплуатационные показатели. Одним из эффективных путей обеспечения таких показателей зубчатых передач является шлифование рабочих эвольвентных поверхностей шестерен и колес при их изготовлении. Шлифование зубьев зубчатых колес — наиболее надежный метод отделочной обработки, обеспечивающий высокую точность и качество рабочих поверхностей, как правило, закаленных зубчатых колес. Одним из основных методов шлифования эвольвентных профилей является метод копирования при использовании профильных шлифовальных кругов [3, 5, 6].

Известно, что изменение глубины резания при обработке поверхностей является одной из причин образования погрешностей обработки. При шлифовании цилиндрических поверхностей, если поверхность заготовки имеет погрешность формы в виде конусности, то после шлифования поверхность принимает не цилиндрическую, а коническую форму [6].

Закономерности изменения наклона фасонного профиля в зоне шлифования обуславливают изменение закономерности изменения фактической глубины резания (припуска обработки в направлении подачи на глубину) при неизменном значении припуска по фасонному профилю [8].

Элементарные участки фасонных профилей, в том числе эвольвентных, располагаются при их

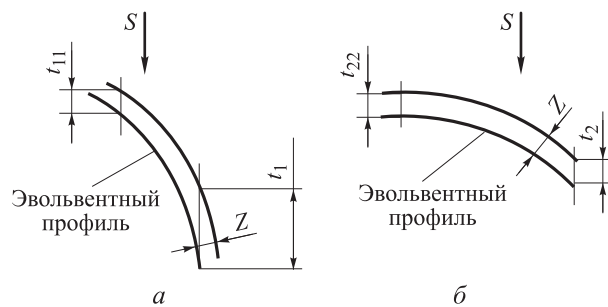


Рис. 1. Схема изменения глубины резания при меньшем (а) и большем (б) углах наклона эвольвентного профиля относительно вертикальной плоскости

шлифовании под разными углами по отношению к собственным осям вращения или оси вращения инструмента (рис. 1, а). Положение зубьев в зоне обработки при шлифовании также влияет на закономерность изменения глубины резания. Увеличение угла наклона эвольвентного профиля в зоне шлифования (рис. 1, б) относительно вертикальной плоскости приводит к уменьшению фактической глубины резания и ее сглаживанию. Поэтому, несмотря на то, что на фасонной поверхности предусмотрен определенный припуск Z (постоянный для всего профиля), фактический припуск в направлении подачи S шлифовального круга на глубину изменяется по профилю зуба (см. рис. 1): $t_1 \neq t_{11}$; $t_2 \neq t_{22}$; $t_1 \neq t_{11} \neq t_2 \neq t_{22} \neq Z$; где t_1, t_{11}, t_2, t_{22} — глубины резания на разных участках профиля.

Таким образом, при зубошлифовании методом копирования отличия фактических глубин резания по эвольвентному профилю зуба, уменьшаясь, копируются на обработанной рабочей поверхности зуба. Появляется погрешность обработки, связанная с технологическим наследованием процесса. Следовательно, одним из направлений повышения качества шлифуемых зубьев может быть обеспечение стабильности фактической глубины резания при шлифовании посредством управления влияющими на нее факторами.

Цель работы — выявление функциональных связей между фактической глубиной резания и влияющими на нее факторами при шлифовании зубьев методом копирования и определение способа управления этими связями.

Функциональная связь между изменениями глубины резания и влияющими на нее факторами. Погрешности, обуславливающие неравномерности глубины резания по всей шлифуемой поверхности зубьев, в зависимости от стадии их образования можно разделить на две группы:

- свойственные процессу зубонарезания и образованные при нарезании зубьев лезвийным инструментом, т. е. погрешности изготовления поверхностей на предшествующих шлифованию операциях. К ним относятся погрешности, связанные с биением (отклонением) оси зубчатого венца относительно оси отверстия, смещением плоскости симметрии зубьев относительно оси отверстия, поворотом плоскости симметрии зубьев относительно проходящей через ось отверстия вертикальной плоскости, поло-

жением эвольвентного профиля в зоне шлифования, а также погрешности толщины, шага зубьев и т. п.;

- присущие процессу шлифования, связанные с организацией и проведением операции шлифования. К основным из них относятся погрешности, связанные с такими факторами, как положение шлифуемого зуба в зоне обработки, профилирование шлифовального круга, неравномерный износ абразивного круга, а также геометрические погрешности станка и погрешности, вызванные тепловыми и упругими деформациями элементов технологической системы.

Среди перечисленных факторов, по мнению авторов, наибольшего внимания заслуживают те, которые имеют субъективный характер и связаны с организацией и проведением зубоформирования [9]. Проведем анализ влияния на точность шлифования некоторых из них, являющихся наиболее значимыми.

Отклонение оси зубчатого венца относительно оси отверстия (e). Несмотря на то, что изменения глубины резания (толщина снимаемого материала в направлении подачи инструмента на глубину резания) идентичны для одноименных эвольвентных профилей одноименных зубьев, расположенных слева и справа от плоскости, проходящей через оси зубчатого венца и базового отверстия (ось вращения заготовки), — плоскости эксцентриситета, они отличны для всех зубьев, расположенных с одной стороны этой плоскости. Наибольшее значение разницы глубин резания достигается на профилях, противоположных относительно направления эксцентриситета зубьев. Изменение диапазона глубин резания только из-за биения зубчатого венца относительно оси враще-

ния колеса-заготовки при шлифовании $\Delta t_e = 2e$. Толщина наиболее удаленного в направлении эксцентриситета поверхностного слоя снимаемого материала зуба $\sim (t + e)$, а противоположного для него зуба $\sim (t - e)$. При этом Δt_e формируется первичными погрешностями четырех типов, приводящими к эксцентриситету: отклонением от одноосности отверстия, являющегося технологической базой, и вращением колеса-заготовки при зубонарезании — e_1 ; биением зубонарезного инструмента — e_{11} ; отклонением от одноосности базового отверстия и вращением колеса-заготовки при зубошлифовании — e_2 ; биением абразивного круга — e_{21} . С учетом того, что величины биения зубоформирующих зубьев инструмента незначительны ($e_{11} \rightarrow 0$; $e_{21} \rightarrow 0$), получим

$$e = \sqrt{e_1^2 + e_2^2}; \quad \Delta t_e = 2\sqrt{e_1^2 + e_2^2}.$$

Известно, что эксцентриситеты e_1 и e_2 определяются гарантированными зазорами между установочными поверхностями оправки и технологическими базами заготовки. Следовательно, для нивелирования их значений ($e_1 \rightarrow \min$; $e_2 \rightarrow \min$) как при нарезании зубьев, так и при их шлифовании, необходимо установить заготовку на оправку разжимной конструкции.

Положение шлифуемого зуба в зоне обработки (рис. 2). Наиболее существенно влияющим на изменение глубины резания при шлифовании фактором является механизм позиционирования шлифуемого эвольвентного профиля зуба относительно направления подачи инструмента по глубине резания. При шлифовании зубьев методом копирования подача инструмента по глубине резания осуществляется в вертикальном направлении.

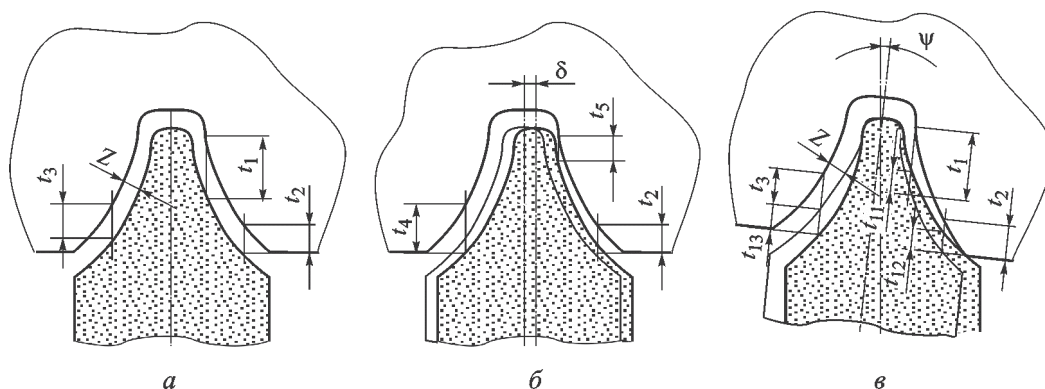


Рис. 2. Схемы изменения глубины резания при идеальной организации рабочего процесса (а), при смещении (б) и повороте (в) плоскости симметрии соседних зубьев относительно профиля инструмента

Поскольку поверхности зубьев являются криволинейными профилями, при их шлифовании методом копирования фактические глубины резания в направлении подачи инструмента нестабильны, т. е. получают различные значения по эвольвентному профилю и сильно отличаются от припуска Z , предусмотренного стабильным по всей поверхности обработки (рис. 2, а): $t_1 \neq t_2 \neq t_3 \neq Z$; где t_1 , t_2 и t_3 — глубины резания на разных участках профиля. Таким образом, подобное изменение глубины резания свойственно процессу зубошлифования методом копирования и связано с положениями шлифуемого зуба и отдельных участков его эвольвентного профиля в зоне резания. Положение зуба в зоне резания как фактор, влияющий на глубину резания, коротко названо авторами «вертикальность (или наклон) шлифуемого зуба».

Неравномерности глубины резания при шлифовании зубьев методом копирования обусловлены также погрешностями базирования при установке колеса-заготовки, вызванными тремя факторами:

- смещением δ плоскостей симметрии двух соседних зубьев (или зуба) относительно профиля абразивного круга (рис. 2, б): $t_2 \neq t_4 \neq t_5 \neq Z$, где t_2 , t_4 и t_5 — глубины резания на разных участках профиля;

- поворотом плоскости симметрии двух соседних зубьев (или зуба) относительно профиля абразивного круга на угол ψ (рис. 2, в): $t_{11} \neq t_1 \neq t_{12} \neq t_2 \neq t_{13} \neq t_3 \neq Z$, где t_{11} , t_{12} , t_{13} — глубины резания на разных участках профиля;

- отклонением направления зубьев от направления двойных ходов стола.

Исходя из изложенного, выявление закономерности распределения глубины резания по эвольвентному профилю в зависимости от положения шлифуемого зуба приобретает первостепенное значение.

Положение эвольвентного профиля в зоне шлифования. Анализ механизма формирования эвольвентного профиля при шлифовании показал, что основной причиной, порождающей неравномерности глубины резания, является почти полное совпадение направлений вертикальной подачи при подводе инструмента на глубину резания и эвольвентного профиля — почти вертикального (см. рис. 1, а). В результате этого образуется неравномерность глубины резания по профилю при всех рабочих проходах абразивного круга.

Функциональная связь между изменениями глубины резания и влияющими на нее факторами в обобщенной форме имеет вид

$$\Delta t =$$

$$= f(\Delta h, \Delta Z, \Delta e, \Delta \psi, \Delta l, \Delta d, \Delta u, \Delta T, \Delta y, \Delta \delta, \Delta_{i-1}),$$

где Δh — изменение глубины резания (далее погрешность), являющееся следствием вертикальности шлифуемого профиля; ΔZ — погрешность, связанная с отличиями оставленных фактических припусков на шлифование для различных зубьев; Δe — погрешность, вызванная смещением плоскостей симметрии соседних зубьев (или зуба) относительно профиля рабочего инструмента (см. рис. 2, б); $\Delta \psi$ — погрешность, связанная с угловым отклонением плоскостей симметрии соседних зубьев (или зуба) относительно профиля рабочего инструмента (см. рис. 2, в); Δl — погрешность, связанная с отклонением направления зуба; Δd — погрешность, являющаяся следствием геометрических неточностей шлифовального станка; Δu — погрешность, связанная с неточностями профилирования абразивного круга и его неравномерным износом; ΔT и Δy — погрешности, являющиеся следствием нестабильности тепловых и упругих деформаций элементов технологической системы; $\Delta \delta$ — погрешность, вызванная смещением оси зубчатого венца относительно оси отверстия; Δ_{i-1} — прочие погрешности шлифуемых зубьев, образованные на предшествующей шлифованию операции обработки зубьев лезвийным инструментом.

Наибольшее значение изменения глубины резания определяется по формуле

$$\Delta t = \Delta h + \left(\Delta^2 Z + \Delta^2 e + \Delta^2 \psi + \Delta^2 \delta + \Delta^2 l + \Delta^2 d + \Delta^2 u + \Delta^2 T + \Delta^2 y + \Delta_{i-1}^2 \right)^{1/2}.$$

При выводе последнего выражения учтено, что погрешности Δh имеют определенные направления и конкретные значения для зубчатых поверхностей с заданными параметрами (модулем, количеством зубьев) в зависимости от организации операции. Остальные погрешности имеют случайные значения и направления в пространстве.

Для конкретных условий шлифования зубьев методом копирования погрешности Δh являются систематически постоянными факторами, влияющими на глубину резания. Выявление зависимостей между подобными фак-

торами-аргументами и целевыми функциями являются наиболее удобными, а управление ими в процессе обработки — эффективным.

Изменение глубины резания по эвольвентному профилю. Неравномерности глубины резания по профилю зубьев при их шлифовании методом копирования связаны с положениями зубьев и элементарных участков шлифуемых зубьев в зоне обработки.

В зависимости от расположения зубьев в зоне обработки подлежат рассмотрению задачи двух типов:

- когда плоскость симметрии двух соседних зубьев совмещена с вертикальной плоскостью симметрии колеса;

- когда плоскость симметрии зуба совмещена с вертикальной плоскостью симметрии колеса.

Углы наклона эвольвентных профилей одноименных зубьев для указанных вариантов неодинаковы, соответственно, различны и закономерности изменения глубины резания по эвольвентному профилю одноименных зубьев.

Выведем математическую модель фактической глубины резания (припуска в направлении подачи инструмента) при каждом рабочем ходе в процессе шлифования зубьев методом копирования. Допустим, что для шлифования профиля зуба предусмотрен равномерный по всему профилю припуск (глубина) Z . Точка G (рис. 3) является началом эвольвенты. Каким-то эвольвентным углом θ_x образована точка A профиля. Фактическая глубина резания в этой точке равна t_x , при этом $t_x = AB \neq Z$. Образующая MB является эвольвентным радиусом точки B , а AF —

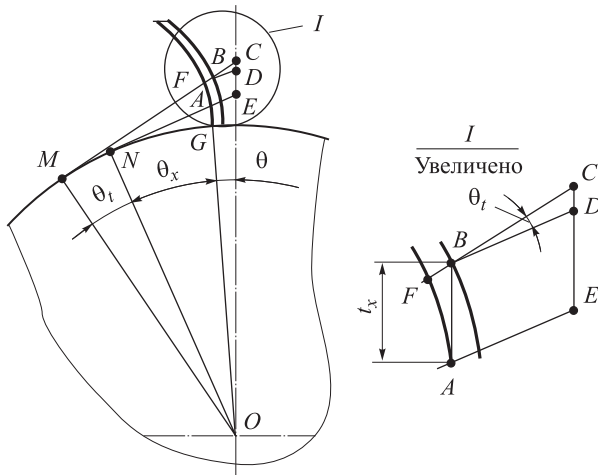


Рис. 3. Схема к изменению глубины резания

частью рассматриваемого эвольвентного профиля.

Анализ выбранной схемы шлифования показал, что глубина резания максимальна (t_{max}) в начале эвольвентного профиля (точка G) и минимальна (t_{min}) в его конце.

Технологической задачей является определение зависимости $t_x = f(\theta_x)$ и выявление с ее помощью путей повышения эффективности шлифования зубьев методом копирования. В данной работе решалась в основном первая часть задачи.

Очевидно, что при стабильности припуска Z по всей зоне обработки поверхность зуба заготовки должна быть эквидистантой рабочей эвольвентной поверхности. Проводим образующую MB от точки B (рис. 3), принадлежащей эвольвентному профилю заготовки. Для вывода $t_x = f(\theta_x)$ продлеваем образующие точек A и B до их пересечения с осью симметрии соседних зубьев (одновременно с осью симметрии абразивного круга) в точках C и E . Принимаем, что угол поворота начальной точки эвольвенты G относительно оси симметрии равен θ . От точки B проводим параллельную прямую BD к образующей NE . Тогда, согласно условиям построения и геометрическим связям между элементами, и решая размерные цепи, получим

$$X = \frac{R}{\cos(\theta_t + \theta_x + \theta)} - \frac{R}{\cos(\theta_x + \theta)} - \left\{ \left[R \operatorname{tg}(\theta_t + \theta_x + \theta) - \frac{\pi R(\theta_t + \theta_x)}{180} - Z \right]^2 + \left[R \operatorname{tg}(\theta_x + \theta) - \frac{\pi R \theta_x}{180} \right]^2 - 2 \left[R \operatorname{tg}(\theta_t + \theta_x + \theta) - \frac{\pi R(\theta_t + \theta_x)}{180} - Z \right] \times \left[R \operatorname{tg}(\theta_x + \theta) - \frac{\pi R \theta_x}{180} \right] \cos \theta_t \right\}^{1/2}; \quad (1)$$

$$\left[R \operatorname{tg}(\theta_x + \theta) - \frac{\pi R \theta_x}{180} \right] \sin \theta_t = \left[\frac{R}{\cos(\theta_t + \theta_x + \theta)} - \frac{R}{\cos(\theta_x + \theta)} - X \right] \cos(\theta_t + \theta_x + \theta), \quad (2)$$

где R — радиус основной окружности; θ_t — эвольвентный угол, образованный глубиной резания в точке A ; θ_x — эвольвентный угол искомой точки A профиля; θ — угол поворота начальной точки эвольвенты.

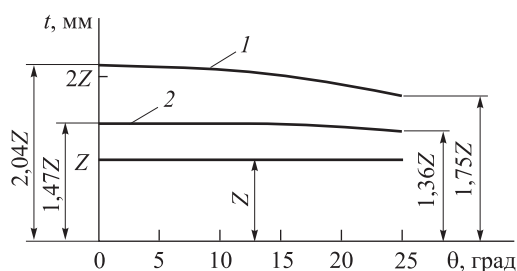


Рис. 4. Зависимости глубины резания от эвольвентного угла поворота профиля для первого (1) и пятого (2) зубьев

Решение системы, состоящей из уравнений (1) и (2), относительно X позволяет получить математическую модель глубины резания.

При конкретных значениях θ_x система из двух уравнений (1) и (2) с двумя неизвестными (X и θ_x) может быть решена традиционными математическими методами. Также не представляет трудности и ее решение относительно $X = t_x$ с применением современных программ (например MATLAB и др.). Диапазон изменения эвольвентного угла θ_x в уравнениях (1) и (2) ограничивается наружным диаметром колеса и соотношением $0 \leq \theta_x \leq \theta_{\max}$. Согласно уравнениям (1) и (2), глубина резания $t_x = t_{\max}$ при $\theta_x = 0$ и $t_x = t_{\min}$ при $\theta_x = \theta_{\max}$.

Анализ уравнений (1) и (2) позволил установить, что с увеличением угла θ уменьшается глубина резания при заданном значении припуска Z , улучшаются условия шлифования. Следовательно, увеличение угла наклона эвольвентного профиля обуславливает уменьшение глубины резания, обеспечивает более равномерное ее распределение. При горизонтальном расположении зуба $t_{\max} = Z$. Однако при шлифовании зубьев методом копирования обеспечение этого условия невозможно, так как абразивный круг задевает головку соседнего зуба.

Уравнения (1) и (2) позволили построить графическую зависимость $t_x = f(\theta_x)$ и опреде-

лить экстремальные (предельные) значения глубины резания при шлифовании первого и пятого зубьев с модулем $m = 4$ мм и количеством зубьев $z = 40$ (рис. 4). Установлено, что при значении $Z = 0,3$ мм по всему эвольвентному профилю для первого и пятого зубьев максимальная глубина резания в начале профиля составила соответственно $2,04Z$ и $1,47Z$, а минимальная глубина резания в конце профиля — $1,75Z$ и $1,36Z$.

Таким образом, увеличение угла наклона зуба в зоне шлифования приводит к уменьшению фактической глубины резания, увеличению рабочей ширины абразивного круга, уменьшению объема материала, снимаемого каждой элементарной его шириной, и т. п. [6, 10, 11]. При этом облегчаются условия шлифования, в том числе тепловой режим в зоне резания [12, 13].

Исходя из изложенного можно констатировать, что для повышения эффективности процесса шлифования зубьев методом копирования необходимо шлифовать зубья, имеющие относительно высокий угол наклона.

Выводы

1. При шлифовании зубьев зубчатых колес методом копирования глубина резания изменяется по эвольвентному профилю зуба.
2. Максимальное значение глубины резания соответствует началу эвольвентного профиля, а минимальное значение — концу профиля.
3. С повышением наклона эвольвентного профиля и удалением его участков от начала эвольвенты глубина резания уменьшается и приближается к припуску.
4. Для повышения эффективности процесса шлифования зубьев методом копирования необходимо шлифовать зубья, плоскости симметрии которых образуют наименьшие углы с горизонтальной плоскостью.

Литература

- [1] Артамонов В.Д., Федоров Ю.Н. *Анализ эффективности процессов зубонарезания цилиндрических колес*. Тула, ТулГУ, 2008. 356 с.
- [2] Калашников А.С. *Технология изготовления зубчатых колес*. Москва, Машиностроение, 2004. 480 с.
- [3] Макаров В.М. *Обеспечение точности профильного шлифования винтовых зубьев крупномодульных цилиндрических колес на основе имитационного моделирования*. Дис. ... д-ра тех. наук, Саратов, 2010. 509 с.
- [4] Тайц Б.А., ред. *Производство зубчатых колес: справочник*. Москва, Машиностроение, 1990. 464 с.

- [5] Старжинский В.Е., Кане М.М., ред. *Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач*. Санкт-Петербург, Профессия, 2007. 832 с.
- [6] Дальский А.М., Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., ред. *Справочник технолога-машиностроителя*. В 2-х т. Москва, Машиностроение, 2003, т. 1, 912 с., т. 2, 944 с.
- [7] Калашников А.С., Моргунов Ю.А., Калашников П.А. Особенности прерывистого профильного шлифования цилиндрических зубчатых колес. *Известия МГТУ «МАМИ»*, 2013, т. 2, № 1(15), с. 51–54.
- [8] Rasulov N.M., Shabiev E.T. Change the depth of cut in grinding of copying method of the teeth. *Scientific works, fundamental works*. Baku, Azerbaijan Technical University, 2013, vol. 2, no. 2, pp. 188–192.
- [9] Shabiev E.T. Factors influencing change in the actual cutting depth when grinding teeth copying. *Journal of Qafqaz University Mexanikal and Industrial Engineering*, 2014, vol. 2, no. 1, pp. 42–47.
- [10] Расулов Н.М., Шабиев Е.Т. О глубине резания при шлифовании зубьев копированием. *Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Междунар. сб. науч. тр.*, Донецк, ДонГТУ, 2014, с. 76–81.
- [11] Rasulov N.M., Shabiev E.T. Researching the effect of the inclination of the shaped surfaces to the grinding quality via duplicating method. *Journal of Qafqaz University Mexanikal and Industrial Engineering*, 2014, vol. 2, no. 1, pp. 81–87.
- [12] Резников А.Н. *Абразивная и алмазная обработка материалов*. Справочник. Москва, Машиностроение, 1977. 391 с.
- [13] Сипайлов В.А. *Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности*. Москва, Машиностроение, 1978. 167 с.

References

- [1] Artamonov V.D., Fedorov Iu.N. *Analiz effektivnosti protsessov zubonarezaniia tsilindricheskikh kolez* [Analysis of the effectiveness of processes gear cutting cylindrical gears]. Tula, TulSU publ., 2008. 356 p.
- [2] Kalashnikov A.S. *Tekhnologiya izgotovleniia zubchatykh kolez* [Gear manufacturing technology]. Moscow, Mashinostroenie publ., 2004. 480 p.
- [3] Makarov V.M. *Obespechenie tochnosti profil'nogo shlifovaniia vintovykh zub'ev krupnomodul'nykh tsilindricheskikh kolez na osnove imitatsionnogo modelirovaniia*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Ensuring the accuracy of profile grinding of helical teeth of a coarse-grained cylindrical gears on the basis of simulation modeling. Dr. tech. sci. diss.]. Saratov, 2010. 509 p.
- [4] *Proizvodstvo zubchatykh kolez: Spravochnik* [Production of gears: Directory]. Ed. Taitis B.A. Moscow, Mashinostroenie publ., 1990. 464 p.
- [5] *Tekhnologiya proizvodstva i metody obespecheniia kachestva zubchatykh kolez i peredach* [The technology of production and quality assurance methods gears and gear]. Ed. Starzhinskii V.E., Kane M.M. St. Petersburg, Professii publ., 2007. 832 p.
- [6] *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelia*. [Manual machinist technologist]. Ed. Dal'skii A.M., Suslov A.G., Kosilova A.G., Meshcheriakov R.K. Moscow, Mashinostroenie publ., 2003. vol. 1, 912 p., vol. 2, 944 p.
- [7] Kalashnikov A.S., Morgunov Iu.A., Kalashnikov P.A. Osobennosti preryvistogo profil'nogo shlifovaniia tsilindricheskikh zubchatykh kolez [Features for discontinuous profile grinding of cylindrical gears]. *Izvestiia MGTU «МАМИ»* [Izvestiya MGTU «МАМИ»]. 2013, vol. 2, no. 1(15), pp. 51–54.
- [8] Rasulov N.M., Shabiev E.T. Change the depth of cut in grinding of copying method of the teeth. *Scientific works, fundamental works*. Baku, Azerbaijan Technical University, 2013, vol. 2, no. 2, pp. 188–192.
- [9] Shabiev E.T. Factors influencing change in the actual cutting depth when grinding teeth copying. *Journal of Qafqaz University Mexanikal and Industrial Engineering*, 2014, vol. 2, no. 1, pp. 42–47.
- [10] Rasulov N.M., Shabiev E.T. O glubine rezaniia pri shlifovanii zub'ev kopirovaniem [The depth of cut in the grinding of teeth copying]. *Progressivnye tekhnologii i sistemy mashinostroeniia. Mezhdunar. sb. nauch. tr.* [Progressive technologies and systems of mechanical

engineering. International collection of scientific papers]. Donetsk, DonSTU publ., 2014, pp. 76–81.

- [11] Rasulov N.M., Shabiev E.T. Researching the effect of the inclination of the shaped surfaces to the grinding quality via duplicating method. *Journal of Qafqaz University Mexanikal and Industrial Engineering*, 2014, vol. 2, no. 1, pp. 81–87.
- [12] Reznikov A.N. *Abrazivnaia i almaznaia obrabotka materialov. Spravochnik* [Abrasive and diamond material processing. Directory]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1977. 391 p.
- [13] Sipailov V.A. *Teplovye protsessy pri shlifovanii i upravlenie kachestvom poverkhnosti* [Thermal processes in grinding and quality control of the surface]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1978. 167 p.

Статья поступила в редакцию 30.06.2016

Информация об авторах

РАСУЛОВ Нариман Могбил оглы (Баку) — доктор технических наук, профессор, кафедра «Технология машиностроения». Азербайджанский технический университет (AZ1073, Баку, Азербайджан, пр. Г. Джавида, д. 25, e-mail: nariman.rasulov@yahoo.com).

ШАБИЕВ Елгюн Тагы оглы (Баку) — ассистент, кафедра «Метрология и стандартизация». Азербайджанский технический университет (AZ1073, Баку, Азербайджан, пр. Г. Джавида, д. 25, e-mail: shebiyev@list.ru).

Information about the authors

RASULOV Nariman Mogbil oglu (Baku) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Technology of Mechanical Engineering Department. Azerbaijan Technical University (AZ1073, Baku, Azerbaijan, H. Javid Ave., Bldg. 25, e-mail: nariman.rasulov@yahoo.com.).

SHABIEV Elgun Tagi oglu (Baku) — Assistant, Metrology and Standardization Department. Azerbaijan Technical University (AZ1073, Baku, Azerbaijan, H. Javid Ave., Bldg. 25, e-mail: Shebiyev@list.ru).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышло в свет 4-е издание учебника

«Теплотехника»

под общей редакцией **А.М. Архарова, В.Н. Афанасьева**

В четвертом издании учебника рассмотрены основы термодинамики и теории теплообмена, топливо и его горение, схемы и элементы расчета котлов, промышленных печей, паро- и газотурбинных, когенерационных и микрогазотурбинных установок, газоперекачивающих станций магистральных газопроводов, поршневых двигателей внутреннего и внешнего сгорания, ракетных, ракетно-прямоточных и авиационных двигателей, холодильных установок, компрессоров и вакуумных насосов, атомных и плазменных энергоустановок. Приведены расчеты систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Включены разделы, касающиеся космических энергоустановок, теплообменных аппаратов, гидромашин, фотонных энергосистем, криогенных систем для ожижения газов, разделения воздуха, получения неона, криптона и ксенона, а также систем регулирования. Большое внимание в книге уделено вопросам экологии, защиты окружающей среды и возобновляемым источникам энергии.

Содержание учебника соответствует курсам лекций, которые авторы читают в МГТУ им. Н.Э. Баумана и других крупных российских и зарубежных университетах.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru