

УДК 621.92

DOI 10.18698/0536-1044-2017-2-90-97

Повышение эффективности шлифования зубьев зубчатых колес методом копирования на основе управления глубиной резания

Н.М. Расулов, Е.Т. Шабиев

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

Increasing the Efficiency of Gear Teeth Grinding by Copying Using Management of the Cutting Depth

N.M. Rasulov, E.T. Shabiev

Azerbaijan Technical University, AZ 1073, Baku, Azerbaijan, H. Javid Ave., Bldg. 25



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

i При шлифовании зубьев зубчатых колес методом копирования, несмотря на стабильность припуска на обработку, глубина резания по профилю зуба получается неравномерной, что снижает эффективность процесса. Отличия фактических глубин резания по эвольвентному профилю зуба, уменьшаясь, копируются на его обработанной рабочей поверхности. Появляется погрешность обработки, связанная с технологическим наследованием процесса. Неравномерное распределение глубины резания по профилю зуба обуславливает неравномерность износа абразивного круга и другие недостатки процесса, являющиеся последствиями этого. Для улучшения условий шлифования и повышения качества обрабатываемых зубьев необходимо обеспечить стабильность фактической глубины резания посредством управления влияющими на нее факторами. Увеличение наклона шлифуемого зуба в зоне обработки создает условия для относительно равномерного распределения глубины резания по профилю. Разработана математическая модель для определения порядкового номера зуба, расположенного под наклоном к вертикальной плоскости симметрии и обеспечивающего эффективность шлифования зубьев по всему профилю. На основе анализа предложенной модели показано направление обеспечения относительно равномерного распределения глубины резания по профилю зуба.

Ключевые слова: глубина резания, шлифование методом копирования, эффективность шлифования зубьев, мощность тепловыделения, уменьшение неровностей, абразивный круг.

i When grinding gear teeth by copying, the profile cutting depth becomes uneven despite stable machining allowance. This reduces the efficiency of the process. The differences in the actual cutting depths for the involute tooth profile, while decreasing, are copied on the machined working surface of the tooth. Machining errors appear due to the technological inheritance of the process. The uneven cutting depth distribution along the tooth profile causes the uneven wear of the abrasive wheel and other shortcomings resulting from this. To improve grinding conditions and quality of the machined teeth it is important to ensure stability of the actual cutting depth by controlling influencing factors. Increasing the inclination of the tooth when grinding, creates conditions for a relatively uniform distribution of the profile cutting depth. A mathematical model is developed to determine the ordinal number of the tooth inclined in relation to the vertical plane of symmetry and providing efficient grinding along the whole

profile. Based on the analysis of the proposed model, the authors show ways of ensuring relatively even distribution of the profile cutting depth.

Keywords: cutting depth, grinding by copying, grinding efficiency, heat generation power, roughness reduction, abrasive wheel.

Для обеспечения конкурентоспособности современные широко применяемые в технике зубчатые передачи [1–3] должны иметь высокие эксплуатационные показатели, определяемые в основном качеством изготовления зубьев шестерен и колес [3–5].

Шлифование методом копирования зубьев зубчатых колес, обеспечивающее высокие точность и качество рабочих эвольвентных поверхностей, является одной из наиболее эффективных и надежных технологий отделочной обработки таких изделий. Шлифование таким методом проводят дисковым абразивным кругом с профилем, точно соответствующим профилю впадины между соседними зубьями колеса. Припуск на обработку составляет 0,2...0,3 мм на толщину зуба. Шлифование осуществляют за три–четыре прохода, что обеспечивает точность обработки 0,01...0,015 мм и шероховатость поверхности $Ra = 0,32$ мкм [4, 5].

Для определения влияния технологических факторов на глубину резания при стабильности припуска на обработку зубьев зубчатых колес методом копирования проведено исследование. В результате эксперимента установлено, что одной из причин, обуславливающих погрешности параметров шлифованных зубьев, является неравномерность распределения фактической глубины резания на элементарных участках обрабатываемых поверхностей.

Вертикальное положение зуба в зоне шлифования относится к основным факторам, приводящим к неравномерному распределению фактической глубины резания по эвольвентному профилю зуба (рис. 1): $t_1 \neq t_2 \neq Z$, где t_1, t_2 — глубины резания на разных участках профиля; Z — припуск обработки. Для определения глубины резания на любом участке профиля зуба колеса, соответствующем эвольвентному углу, получена система уравнений. Анализ этих уравнений позволил установить, что увеличение наклона эвольвентного профиля зуба в зоне обработки позволяет сгладить неравномерность распределения фактической глубины резания по этому профилю [6–8].

Неравномерность распределения глубины резания по профилю и вдоль шлифуемого зуба,

а также вертикальность профиля порождают следующие недостатки процесса:

- ширина рабочей поверхности абразивного круга H значительно меньше ширины обрабатываемой поверхности — $H = b < AC$ (рис. 1); объем снимаемого материала единой шириной абразивного круга относительно велик; интенсивность изнашивания инструмента при резании высока, поэтому его рабочий профиль быстро искажается, что требует его исправления (заточки), а это снижает срок службы круга;

- рабочая поверхность и объем абразивного круга, принимающие теплоту, выделяемую в зоне резания, относительно малы; незначительна также вероятность передачи получаемой инструментом тепловой энергии в атмосферу; на обрабатываемой поверхности создаются высокий тепловой режим, а затем условие ее «сгорания», вследствие чего происходит образование нежелательных микротрещин, являющихся очагами разрушения рабочих поверхностей зубьев [5, 9];

- мероприятия (например, увеличение числа проходов, облегчение режима обработки и т. п.), выполняемые для исключения или снижения указанных недостатков приводят к увеличению машинного времени обработки, а также к снижению производительности и эффективности процесса.

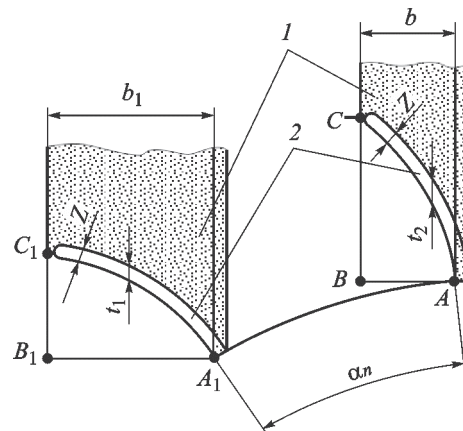


Рис. 1. Схема изменения глубины резания и ширины абразивного круга в зависимости от положения шлифуемого профиля зуба:
1 — абразивный круг; 2 — фасонный профиль

Цель работы — разработка математической модели оптимального порядкового номера шлифуемого зуба, расположенного под наклоном к вертикальной плоскости симметрии, при базировании, и ее анализ с позиции обеспечения эффективности процесса.

Определение порядкового номера шлифуемого зуба. Технологической задачей является определение оптимального порядкового номера шлифуемого зуба. Обеспечение оптимального зубошлифования в данном случае основано на обработке зуба, имеющего наибольший наклон относительно вертикальной плоскости.

В зависимости от положения зубьев в зоне обработки необходимо рассмотреть задачу для двух вариантов: вертикальная плоскость симметрии колеса совмещена с плоскостью симметрии двух соседних зубьев и плоскостью симметрии зуба [6, 10, 11]. Наклон эвольвентных профилей одноименных зубьев для указанных вариантов различен, поэтому следует определить порядковый номер шлифуемого зуба для обоих случаев базирования либо они могут различаться на один зуб.

При решении задачи приняты следующие начальные условия:

- торцовая поверхность абразивного круга не должна срезать профиль соседнего (предыдущего) зуба, для чего предусмотрено расстояние надежности δ между торцом абразивного круга и эвольвентным профилем соседнего зуба (рис. 2);

- шлифоваться должна вся поверхность зуба от начала эвольвенты до наружной окружности (при наличии закругления в начале профиля обычно достаточно обработки профиля до перехода к закруглению).

Разработаем математическую модель оптимального порядкового номера шлифуемого зуба, расположенного под наклоном к вертикальной плоскости симметрии, при базировании по первому варианту [6, 10, 11].

За начало отсчета зуба принимаем вертикальную плоскость симметрии колеса Q (см. рис. 2).

Порядковый номер зуба n отсчитываем слева и справа от нее. Плоскость P , представляющая собой вертикальную плоскость, проходящую через начало эвольвентного профиля, определяет предел шлифования профиля и одновременно торцовую поверхность абразивного круга. При этом предусмотрено расстояние надежности δ , при больших значениях которого обработка будет неэффективной.

Допустим, что зуб с порядковым номером n является последним наклонным зубом, обеспечивающим условия шлифования (см. рис. 2), т. е. при обработке следующего зуба с порядковым номером $(n + 1)$ абразивный круг срезает профиль предыдущего зуба с порядковым номером n . При шлифовании зуба с номером $(n - 1)$ расстояние δ получает большое значение, следовательно, технологические возможности метода используются не полностью.

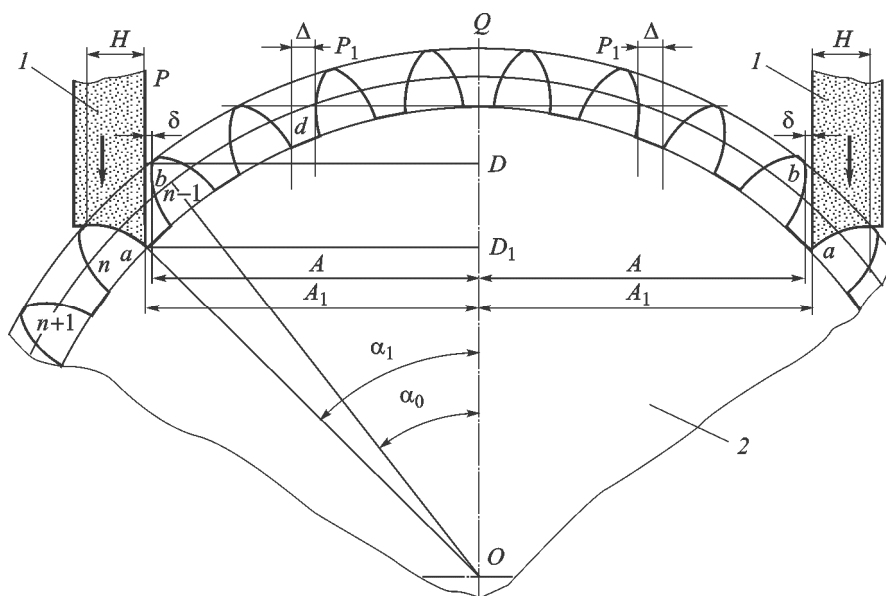


Рис. 2. Схема к определению наклона эвольвентного профиля в зоне шлифования:
1 — абразивный круг; 2 — заготовка-деталь

При обеспечении значения δ вероятны два экстремальных условия:

- расстояние δ формируется между торцевой поверхностью абразивного круга (плоскость P) и какой-либо точкой d эвольвентного профиля (плоскость P_1 , проходящая от точки d параллельно вертикальной плоскости симметрии); при этом $\delta = \Delta$;

- расстояние δ создается между плоскостью P и переходной точкой b вершины зуба по наружной окружности (переходная точка от эвольвентного профиля к наружной поверхности зуба).

Для выявления вероятности появления каждого из этих условий проведен анализ. Исследование размерных цепей и механизма формирования эвольвенты позволило установить, что единственным условием, обеспечивающим требования задачи, является формирование значения δ как расстояния между торцевой поверхностью абразивного круга и переходной точкой b на вершине зуба [10].

Для того чтобы абразивный круг не задевал вершину предыдущего зуба ($n - 1$) при шлифовании зуба с порядковым номером n , необходимо обеспечить условие (см. рис. 2)

$$A_1 \geq A + \delta, \quad (1)$$

где A_1 — расстояние между торцом абразивного круга и плоскостью симметрии Q ; A — расстояние между переходной точкой и плоскостью симметрии Q .

Для определения параметров A и A_1 используем соответствующие длины дуг по наружной и внутренней окружностям зубьев колеса. Расстояние по окружности от основания зуба (от начальной точки a эвольвентного профиля зуба) с порядковым номером n (следовательно, от плоскости, проходящей от этой точки параллельно плоскости симметрии и имитирующей торцевую поверхность абразивного круга) до вертикальной плоскости симметрии Q выражает длину дуги по соответствующей окружности. Согласно схеме, приведенной на рис. 2:

$$A = O_b \sin \alpha_0 = 0,5d_n \sin \alpha_0;$$

$$A_1 = O_a \sin \alpha_1 = 0,5d_b \sin \alpha_1,$$

где α_0 и α_1 — углы охвата размеров A и A_1 ; d_n и d_b — наружный и внутренний диаметры зубьев.

Решая угловые размерные цепи, получаем

$$A_1 = 0,5d_b \sin \frac{360[(n-0,5)t_b - 0,5S_b]}{\pi d_b}; \quad (2)$$

$$A = 0,5d_n \sin \frac{360[(n-1,5)t_n + 0,5S_n]}{\pi d_n}, \quad (3)$$

где t_b и t_n — шаги зуба по внутренним и наружным окружностям; S_b и S_n — толщины зуба по внутренним и наружным окружностям.

Используя конструктивные элементы эвольвентного профиля, получим

$$S_b = \frac{\pi d_b}{180} \left(\frac{180}{\pi d_b} \sqrt{d^2 - d_o^2} - \arccos \frac{d_o}{d} + \frac{90t}{\pi d} \right); \quad (4)$$

$$S_n = \frac{\pi d_n}{180} \left[\frac{180}{\pi d_b} \left(\sqrt{d^2 - d_b^2} - \sqrt{d_n^2 - d_b^2} \right) - \arccos \frac{d}{d_b} + \frac{90t}{\pi d} + \arccos \frac{d_b}{d_n} \right], \quad (5)$$

где d — диаметр делительной окружности; d_o — диаметр основной окружности; t — шаг зуба по делительной окружности.

После подстановки выражений (4), (5) в формулы (2), (3) и упрощений, получим

$$A_1 = 0,5d_b \sin \left\{ \frac{360}{\pi d_b} \left[(n-0,5)t_b - \frac{\pi d_b}{360} \left(\frac{180}{\pi d_b} \sqrt{d^2 - d_o^2} - \arccos \frac{d_o}{d} + \frac{90t}{\pi d} \right) \right] \right\}; \quad (6)$$

$$A = 0,5d_n \sin \left\{ \frac{360}{\pi d_n} \left[(n-1,5)t_n + \frac{\pi d_n}{360} \left(\frac{180}{\pi d_b} \left(\sqrt{d^2 - d_b^2} - \sqrt{d_n^2 - d_b^2} \right) - \arccos \frac{d_o}{d} + \frac{90t}{\pi d} + \arccos \frac{d_b}{d_n} \right) \right] \right\}. \quad (7)$$

Подставив выражения (6) и (7) в формулу (1) и заменив искомый порядковый номер наклонного зуба n его оптимальным порядковым номером $n_{\text{опт}}$, имеем

$$d_b \sin \left\{ \frac{360}{\pi d_b} \left[(n-0,5)t_b - \frac{\pi d_b}{360} \left(\frac{180}{\pi d_b} \sqrt{d^2 - d_o^2} - \arccos \frac{d_o}{d} + \frac{90t}{\pi d} \right) \right] \right\} \geq d_n \sin \left\{ \frac{360}{\pi d_n} \left[(n-1,5)t_n + \frac{\pi d_n}{360} \left(\frac{180}{\pi d_b} \left(\sqrt{d^2 - d_b^2} - \sqrt{d_n^2 - d_b^2} \right) - \arccos \frac{d_o}{d} + \frac{90t}{\pi d} + \arccos \frac{d_b}{d_n} \right) \right] \right\} + 2\delta. \quad (8)$$

Уравнение (8) — математическая модель оптимального порядкового номера n_{opt} шлифуемого зуба. Аналогично можно получить математическую модель номера n_{opt} при шлифовании зубьев, когда плоскость симметрии зуба совпадает с вертикальной плоскостью симметрии колеса.

В качестве примера определены экстремальные (предельные) значения глубины резания при шлифовании первого и пятого зубьев с модулем $m = 4$ мм и количеством зубьев $z = 40$. Установлено, что при припуске $Z = 0,3$ 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 $1,36Z$ [6].

Таким образом, шлифование пятого зуба колеса вместо первого при указанных значениях параметров m и z способствует уменьшению максимального значения глубины резания (с $2,04Z$ до $1,47Z$) и диапазона ее изменения: верхнего предела на $0,29Z$ ($2,04Z - 1,75Z$), а нижнего на $0,11Z$ ($1,47Z - 1,36Z$).

Повышение эффективности шлифования зубьев методом копирования. *Снижение общей мощности тепловыделения.* Одним из условий обеспечения высокого качества при обработке поверхностей шлифованием является регулирование термического режима в технологических подсистемах [9]. Подобные мероприятия, условно названные «направленное изменение температуры», предназначены для создания оптимальных условий технологического процесса на основе управления теплотой, выделяемой на локальных участках стружки, а также общей теплотой, отводимой в инструмент и заготовку. Поскольку шлифование должно обеспечивать высокую точность и качество поверхности обработки, возможность управления локальным и общим тепловыделением, а также его снижением имеет особое значение. Между элементами режима резания и общей мощностью тепловыделения при шлифовании выявлена эмпирическая зависимость [9]

$$W = Cb^{x_{Pz}} a^{y_{Pz}} v^{z_{Pz} + 1}, \quad (9)$$

где C — коэффициент, зависящий от свойств материала и геометрии режущего инструмента; x_{Pz} , y_{Pz} , z_{Pz} — постоянные степени в эмпирической зависимости составляющей силы резания P_z ; b и a — ширина и толщина снимаемого материала; v — скорость резания.

Механизм шлифования зубьев методом копирования аналогичен шлифованию фасонных поверхностей вращения методом поперечной подачи.

Анализ формулы (9) показывает, что мощность тепловыделения W можно снизить путем уменьшения толщины снимаемого материала при неизменных значениях его ширины и длины при шлифовании.

Независимо от положения зуба в зоне обработки длина шлифуемой поверхности, равная криволинейной длине эвольвентного профиля, является постоянной. Однако с увеличением наклона зуба уменьшается толщина снимаемого материала при его постоянной ширине ($b = \text{const}$).

В результате поворота шлифуемого зуба в зоне обработки на угол α_n толщина снимаемого материала уменьшается и достигает некоторого значения a_α . При этом в соответствии с выражением (9) общая мощность тепловыделения

$$W_\alpha = Cb^{x_{Pz}} a_\alpha^{y_{Pz}} v^{z_{Pz} + 1}.$$

Если обозначить уменьшение общей мощности тепловыделения коэффициентом K_W , то снижение мощности, связанной с положением зуба, определяется этим коэффициентом:

$$K_W = \frac{W}{W_\alpha} = \frac{Cb^{x_{Pz}} a^{y_{Pz}} v^{z_{Pz} + 1}}{Cb^{x_{Pz}} a_\alpha^{y_{Pz}} v^{z_{Pz} + 1}} = \left(\frac{a}{a_\alpha} \right)^{y_{Pz}}. \quad (10)$$

Применив выражение (10) к рассмотренному примеру, в котором $a = 2,04Z$ и $a_\alpha = 1,47Z$, получим

$$K_W = \left(\frac{2,04Z}{1,47Z} \right)^{y_{Pz}} = (1,39)^{y_{Pz}}.$$

Коэффициент K_W определяет кратность уменьшения общей мощности тепловыделения при шлифовании наклонного зуба по сравнению с таковой при обработке вертикально расположенного зуба.

Уменьшение неровностей на шлифованных поверхностях. Механизм шлифования зубьев методом копирования аналогичен шлифованию плоских поверхностей. В результате эксперимента установлено, что при шлифовании плоских поверхностей заготовок из стали 12ХН3А между средним арифметическим отклонением (САО) и режимом обработки существует зависимость [4]

$$Ra = 0,27 \frac{K^{0,48} v^{0,27} S^{0,8} t^{0,13}}{i^{0,11}}, \quad (11)$$

где K — зернистость абразивного круга; S — подача; i — число проходов.

Анализ формулы (11) позволил установить, что уменьшение значения фактической глубины резания t при шлифовании обуславливает снижение шероховатости обработанной поверхности, а уменьшение неравномерности распределения глубины резания по эвольвентному профилю приводит к стабильности степени шероховатости поверхности. Между шероховатостью Ra и глубиной резания t действует зависимость в виде $Ra \approx K_1 t^{0,13}$, где K_1 — коэффициент, учитывающий влияние параметров K , v , S и i на шероховатость.

С помощью выражения (11) определены диапазоны изменения шероховатости обработанных поверхностей зубьев:

- при традиционном методе шлифования

$$\begin{aligned} \Delta Ra_m &\approx K_1 \left(2,04 \frac{Z}{i} \right)^{0,13} - K_1 \left(1,75 \frac{Z}{i} \right)^{0,13} = \\ &= 0,02 K_1 \left(\frac{Z}{i} \right)^{0,13}; \end{aligned}$$

- при рекомендуемом методе шлифования

$$\Delta Ra_p \approx 0,01 K_1 \left(\frac{Z}{i} \right)^{0,13}.$$

Уменьшение САО на участке, близком к началу эвольвентного профиля при шлифовании зубьев рекомендуемым методом (применительно к рассмотренному примеру), определяется выражением

$$\Delta Ra \approx \Delta Ra_m - \Delta Ra_p = 0,01 K_1 \left(\frac{Z}{i} \right)^{0,13}.$$

Таким образом, предложенный метод обуславливает снижение шероховатости на значение $\sim 0,05 K_1$, что соответствует примерно 16 %.

Улучшение условий шлифования. Результаты проведенных экспериментов позволили установить, что с помощью элементарных изменений конструкции инструмента можно добиться снижения общей теплоты, выделяемой при резании [9]. Для оценки работы абразивных кругов при шлифовании зубьев колес, а также различных фасонных профилей предлагается использовать коэффициент ширины абразивного круга $K_{ш}$, представляющий собой отношение ширины рабочей части абра-

зивного круга к (длине) ширине шлифуемого профиля. Например, для поверхности АС (см. рис. 1)

$$K_{ш} = \frac{b}{AC}.$$

Чем дальше значение коэффициента ширины от единицы, т. е. $K_{ш} \leq 1$, тем сложнее условия работы круга. С увеличением наклона зубьев в зоне шлифования происходит улучшение условий работы абразивного круга, которое определяется выражением

$$M = \frac{A_1 B_1}{AB} = \frac{b_1}{b} \quad \text{или} \quad M = \left(\frac{b_1}{b} - 1 \right) 100 \%,$$

где b_1 — ширина рабочей части круга после наклона зуба (см. рис. 1).

Условия работы абразивного круга также можно оценить с помощью коэффициента тяжести условий работы, равного обратному значению $K_{ш}$ ($K_p = 1/K_{ш}$). Тогда сложность условий работы круга определяется соотношением $K_p \geq 1$. При шлифовании цилиндрических поверхностей поперечной подачей $AC = b$ и $K_p = K_{ш} = 1$.

Таким образом, увеличение наклона шлифуемого зуба приводит к увеличению ширины рабочей поверхности абразивного круга. При этом уменьшается объем снимаемого материала единой шириной инструмента и улучшаются условия шлифования.

Сравнительные экспериментальные исследования традиционного и разработанного методов, проведенные в Сумгайтском технологическом парке на станке Gleason Pfauter P-400G производства Германии, подтвердили теоретические предпосылки как по точности, так и по качеству поверхности и поверхностного слоя шлифованных зубьев.

Выводы

1. Увеличение наклона шлифуемого зуба в зоне обработки создает условия для относительно равномерного распределения глубины резания по профилю.

2. Создана математическая модель для определения порядкового номера зуба, расположенного под наклоном к вертикальной плоскости симметрии, обеспечивающего эффективность шлифования зубьев по всему профилю.

3. Увеличение наклона шлифуемого зуба обуславливает повышение качества его обработки и эффективности абразивного инструмента, а также снижение общей мощности тепловыделения.

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] Тайц Б.А., ред. *Производство зубчатых колес: справочник*. Москва, Машиностроение, 1990. 464 с.
- [4] Дальский А.М., Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Суслов А.Г., ред. *Справочник технолога-машиностроителя*. Москва, Машиностроение, 2003. Т. 1, 912 с.; т. 2, 944 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] Расулов Н.М., Шабиев Е.Т. Влияние технологических факторов на глубину резания при шлифовании зубьев зубчатых колес методом копирования. *Современные методы и технологии создания и обработки материалов*. Сб. науч. тр. В 3 кн. Кн. 2.: Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки. Минск, ФТИ НАН Беларуси, 2016, с. 226–233.
- [7] Расулов Н.М., Шабиев Е.Т. О глубине резания при шлифовании зубьев копированием. *Прогрессивные технологии и системы машиностроения*. Междунар. сб. науч. тр., Донецк, ДонГУ, 2014, № 2(48), с. 76–81.
- [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] Сипайлов В.А. *Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности*. Москва, Машиностроение, 1978. 167 с.
- [10] Rasulov N.M., Shabiyev E.T. Determination of the optimal number of tooth, grinding copying. *Azerbaijan National Academy of Sciences Series of Physical-Technical and Mathematics*, 2014, vol. 34, no. 6, pp. 149–155.
- [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.

References

- [1] Artamonov V.D., Fedorov Yu.N. *Analiz effektivnosti protsessov zubonarezaniia tsilindricheskikh koles* [Analysis of the efficiency of cylindrical gear-wheels]. Tula, TulSU publ., 2008. 356 p.
- [2] Kalashnikov A.S. *Tekhnologiya izgotovleniia zubchatykh koles* [Technology of manufacturing of gear wheels]. Moscow, Mashinostroenie publ., 2004. 480 p.
- [3] *Proizvodstvo zubchatykh koles: spravochnik* [The gear production: a handbook]. Ed. Taits B.A. Moscow, Mashinostroenie publ., 1990. 464 p.
- [4] *Spravochnik tekhnologa mashinostroitelia* [Manual machinist technologist]. Eds. 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.
- [5] *Tekhnologiya proizvodstva i metody obespecheniia kachestva zubchatykh koles i peredach* [The technology of production and quality assurance methods gears and transmission]. Ed. Starzhinskii V.E., Kane M.M. Sankt-Petersburg, Professiia publ., 2007. 832 p.
- [6] Rasulov N.M., Shabiev E.T. Vliianie tekhnologicheskikh faktorov na glubinu rezaniia pri shlifovanii zub'ev zubchatykh koles metodom kopirovaniia [Influence of technological factors on the cutting depth in the grinding gear teeth copying method]. *Sovremennye metody i tekhnologii sozdaniia i obrabotki materialov. Sb. nauch. tr. V 3 kn. Kn. 2.: Tekhnologii i oborudovanie mekhanicheskoi i fiziko-tekhnicheskoi obrabotki* [Modern methods and tech-

- nologies of creation and processing materials. Coll. scientific papers. In 3 vol. Bk. 2. Technologies and equipment for mechanical and physical-technical processing]. Minsk, PTI of NAS of Belarus publ., 2016, pp. 226–233.
- [7] Rasulov N.M., Shabiev E.T. O glubine rezaniia pri shlifovanii zub'ev kopirovaniem [The depth of cut during grinding of the teeth up]. *Progressivnye tekhnologii i sistemy mashinostroeniia. Mezhdunar. sb. nauch. tr.* [Progressive technologies and systems engineering. International collection of scientific papers]. Donetsk, DonSTU publ., 2014, no. 2(48), pp. 76–81.
- [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] Sipailov V.A. *Teplovye protsessy pri shlifovanii i upravlenie kachestvom poverkhnosti* [Thermal processes in grinding and the control of surface quality]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1978. 167 p.
- [10] Rasulov N.M., Shabiyev E.T. Determination of the optimal number of tooth, grinding copying. *Azerbaijan National Academy of Sciences Series of Physical-Technical and Mathematics*, 2014, vol. 34, no. 6, pp. 149–155.
- [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.

Статья поступила в редакцию 02.11.2016

Информация об авторах

РАСУЛОВ Нариман Могбил оглы (Баку) — доктор технических наук, профессор кафедры «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 кафедры «Метрологии 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, Department of Technology of Mechanical Engineering. 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).