

DOI: 10.21122/2227-1031-2018-17-1-14-20

УДК 621.9

Анализ и выбор рациональных режимов резания твердосплавным инструментом при точении валов

Чл.-кор. НАН Беларуси, докт. техн. наук, проф. В. К. Шелег¹⁾, канд. техн. наук Д. Г. Шатуров²⁾,
докт. техн. наук, проф. Г. Ф. Шатуров²⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь),

²⁾Белорусско-Российский университет (Могилев, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2018
Belarusian National Technical University, 2018

Реферат. Токарная обработка деталей типа валов является наиболее распространенным методом при изготовлении узлов, механизмов и машин. При этом высокое качество обработки валов точением связано с износом лезвия твердосплавного инструмента, который в большой степени зависит от скорости резания. Как известно, стойкость инструмента, ресурс его работы и производительность связаны с износом лезвия твердосплавного инструмента. Однако отсутствие аналитической зависимости по определению оптимальной величины скорости резания не позволяет на стадии проектирования технологического процесса назначить оптимальные режимы обработки. Режущий инструмент в зависимости от условий обработки может подвергаться механическому, абразивному, адгезионному, окислительному (химическому), термоусталостному и диффузионному видам износа. При этом процесс изнашивания состоит из двух видов износа, один из которых в определенный момент влияет на износ в большей степени, чем другой. На основании анализа существующих представлений об изменении стойкости твердосплавного инструмента от скорости резания при точении валов разработана методика назначения рациональных режимов обработки для средних и больших скоростей резания, обеспечивающих максимальный ресурс работы инструмента. Установлен диапазон изменения скорости резания, приводящий к увеличению периода стойкости инструмента и соответственно производительности обработки валов из стали марки ст. 45 инструментом со сменными пластинами из твердого сплава марки Т15К6.

Ключевые слова: точение валов, твердосплавный инструмент, скорость резания, стойкость инструмента

Для цитирования: Шелег, В. К. Анализ и выбор рациональных режимов резания твердосплавным инструментом при точении валов / В. К. Шелег, Д. Г. Шатуров, Г. Ф. Шатуров // *Наука и техника*. 2018. Т. 17, № 1. С. 14–20. DOI: 10.21122/2227-1031-2018-17-1-14-20

Analysis and Selection of Rational Cutting Modes while Using Hard-Alloy Tool for Shaft Turning

V. K. Sheleg¹⁾, D. G. Shaturov²⁾, G. F. Shaturov²⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus),

²⁾Belarusian-Russian University (Mogilev, Republic of Belarus)

Abstract. Turning machining of such parts as shafts is considered as the most widely-spread method for manufacturing units, mechanisms and machinery. While doing so it is necessary to ensure high quality of shaft turning with the help of a hard-alloy tool (accuracy and roughness, stability and predictability of steel edge dimensional wear), maximum tool durability, resource of its service life and productivity. As it is known all these operational parameters of the tool depend very heavily on

Адрес для переписки

Шатуров Геннадий Филиппович
Белорусско-Российский университет
просп. Мира, 43,
212030, г. Могилев, Республика Беларусь
Тел.: +375 22 223-02-53
esu@tut.by

Address for correspondence

Shaturov Gennadiy F.
Belarusian-Russian University
43 Mira Ave.,
212030, Mogilev, Republic of Belarus
Tel.: +375 22 223-02-53
esu@tut.by

cutting speed. However absence of an analytical dependence for determination of optimum cutting speed value does not permit to prescribe optimum operational modes at the stage of technology design process. The cutting tool can be subjected to mechanical, abrasive, adhesive, oxidation (chemical), thermal-fatigue and diffusion wear types depending on turning conditions. In this case wearing process consists of two wear types and one of them influences at a certain point on wearing process to a greater extent than the other one. Methodology for prescription of rational turning modes for medium and high cutting speeds ensuring maximum resource of the tool operation has been developed in the paper and it has been based on the analysis of the existing viewpoints about changes in the hard-alloy tool durability due to cutting speed while turning shafts. The range of cutting speed changes has been determined in the paper and it leads to an increase of the tool durability period and, correspondingly, turning productivity of 45 steel grade shafts while using the tool with T15K6-hard-alloy replaceable inserts.

Keywords: shaft turning, hard-alloy tool, cutting speed, tool durability

For citation: Sheleg V. K., Shaturov D. G., Shaturov G. F. (2018) Analysis and Selection of Rational Cutting Modes while Using Hard-Alloy Tool for Shaft Turning. *Science and Technique*. 17 (1), 14–20. DOI: 10.21122/2227-1031-2018-17-1-14-20 (in Russian)

Детали типа валов широко применяются в узлах, механизмах и машинах, а изготавливаются они методом токарной обработки. Разработка технологического процесса обработки валов точением твердосплавным инструментом должна обеспечить высокое качество обрабатываемых поверхностей (точность и шероховатость, стабильность и предсказуемость размерного износа лезвия резца), максимальные стойкость инструмента, ресурс его работы и производительность. Как известно, все эти показатели работы инструмента в большой степени зависят от скорости резания. Однако отсутствие аналитической зависимости по определению оптимальной величины скорости резания не позволяет на стадии проектирования технологического процесса назначить оптимальные режимы обработки. Это предопределило актуальность и цель настоящих исследований, которые заключаются в определении рационального диапазона изменения скорости резания, обеспечивающей выполнение вышеуказанных показателей работы твердосплавного инструмента, и разработке методики назначения рациональных режимов резания.

Зависимость периода стойкости инструмента от скорости резания при обработке валов из стали марки ст. 45 инструментом со сменными пластинами из твердого сплава марки T15K6 представляет собой периодически изменяющуюся плавную кривую с двумя или тремя максимумами («горбами») и минимумами («впадинами»), разделенными между собой точками перегиба, расположенными на разных уровнях по стойкости при различных скоростях резания (рис. 1) [1–7]. Установлено, что существование «горбов» связано с переходом при изме-

нении скорости резания из одного физического вида износа рабочих поверхностей резца в другой [4]. При этом «горбы» свидетельствуют о динамической стабилизации и оптимальных условиях трения в контактных зонах инструмента со сходящей стружкой и поверхностью резания заготовки. До «горба» и после него условия трения в контактных зонах инструмента не стабильны.

Как известно, режущий инструмент в зависимости от условий обработки может подвергаться механическому, абразивному, адгезионному, окислительному (химическому), термоусталостному и диффузионному видам износа [3, 8]. При этом процесс изнашивания состоит из двух видов износа, один из которых в данный момент времени влияет на износ в большей степени, чем другой. Так, в точках $M_1 (v_{M1}, T_{M1})$ и $M (v_M, T_M)$ кривой $T_0 = f(v)$ (рис. 1) имеет место минимальная стойкость инструмента, обусловленная адгезионным видом износа [3, 9, 10]. Под адгезионным износом инструмента понимают циклический срез касательными напряжениями или отрыв силами адгезии (сцепления, сваривания, прилипания) частиц отдельных выступов разупрочненного инструментального материала сходящей стружкой [3, 8]. Так, при небольших скоростях резания ($v < 10$ м/мин), температуре резания ($\Theta < 300$ °С) и большом давлении адгезия способствует образованию чистых от окислов элементарных поверхностей на передней поверхности резца и нароста [3]. Образовавшийся нарост состоит из двух частей: неподвижной, «приваренной» к передней поверхности «подошвы», и контактирующей с «горячей» стружкой, приводящей к срыву «шапки».

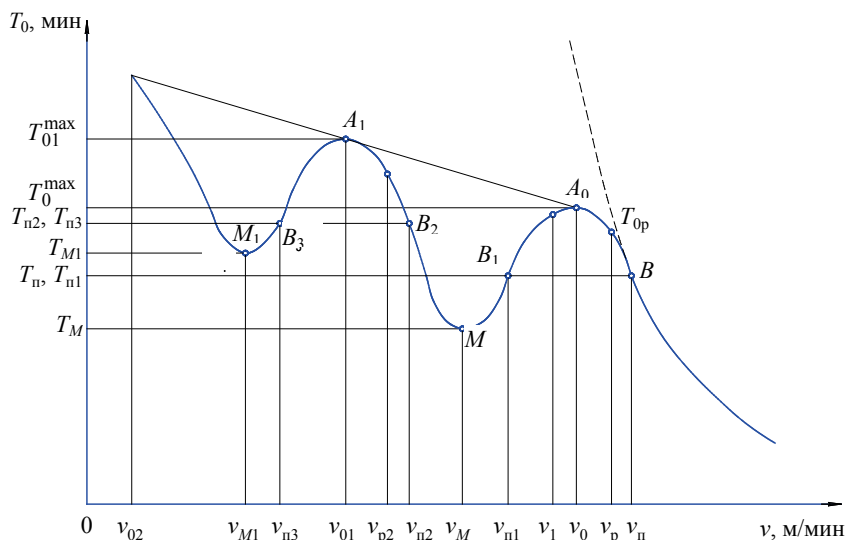


Рис. 1. Зависимость периода стойкости лезвийного инструмента от скорости резания
 Fig. 1. Dependence of edge tool durability period on cutting rate

При скорости резания $v = 20\text{--}45$ м/мин и температуре $\Theta = 300$ °С высота нароста максимальна, а износ минимален (рис. 1, точка A_1 (v_{01}, T_{01}^{\max})). Твердость нароста в 2,5–3 раза превышает твердость обрабатываемого материала. По отношению к инструменту он выполняет функции режущего клина и защитные функции, препятствуя изнашиванию контактных поверхностей инструмента. В зоне образования максимальной высоты нароста, как правило, минимальными являются коэффициент трения, коэффициент усадки стружки, тангенциальная сила резания, а максимальными – стойкость инструмента, передний фактический угол и шероховатость обработанной поверхности [9, 11]. Таким образом, диапазон скоростей резания образования нароста не рекомендуется для чистовой обработки поверхностей.

При повышении скорости резания до 40–50 м/мин наблюдается повышение температуры от 300 до 600 °С, при которой нарост исчезает – вначале «шапка», а затем «подошва» [9]. В результате абразивно-адгезионного износа стойкость инструмента падает до момента (рис. 1, точка M (v_M, T_M)) начала образования окисной пленки, имеющей ячеистый вид [12].

Дальнейшее увеличение скорости резания ($v > v_M$) приводит к росту температуры в зоне резания и пропорционально ей – к увеличению толщины окисной пленки, а аб-

разивно-адгезионный износ постепенно уступает место окислительно-абразивному, где при $v \geq v_{п1}$ окисление является преобладающим [8]. Стабилизация в зоне трения достигается при скорости резания v_0 (рис. 1, точка A_0 (v_0, T_0^{\max})), второй «горб» на кривой зависимости периода стойкости от скорости резания. Окисная пленка, расположенная в зоне трения между рабочими поверхностями лезвия инструмента, стружкой и заготовкой, предотвращает их непосредственный контакт, что положительно сказывается на повышении стойкости инструмента. Окислительным износом называют установившийся стационарный процесс динамического равновесия разрушения и восстановления окисных пленок, где окисление является преобладающим [8]. Таким образом, для увеличения периода стойкости инструмента необходимо назначать такие режимы обработки, которые гарантируют существование окислительного износа между контактирующими поверхностями инструмента, заготовки и сходящей стружки.

При повышении скорости резания $v > v_0$ и росте температуры в зоне резания толщина окисной пленки увеличивается, а ее прочность уменьшается [8, 11]. Это приводит к ее разрушению, что резко увеличивает абразивно-окислительный износ, где в качестве абразива теперь выступает сама окисная пленка. При тем-

пературе $\Theta \geq 850$ °С абразивно-окислительный износ переходит в стадию диффузионного с резким уменьшением стойкости инструмента.

Практический интерес представляют восходящая (при $v \geq v_{п1}$) и нисходящая ($v \geq v_0$) ветви, обеспечивающие максимальную производительность (рис. 1).

Для участка кривой $T_0 = f(v)$, когда скорость резания $v \geq v_n$, где v_n – скорость резания, соответствующая точке *B* перегиба кривой $T_0 = f(v)$, установлена регрессионная зависимость для определения периода стойкости инструмента при точении [13] в виде

$$T_0 = \left(\frac{C}{v}\right)^m = \left(\frac{C}{v}\right)^5, \quad (1)$$

$$C = \frac{C_v K_v}{t^x S^y}, \quad (2)$$

где T_0 – период стойкости инструмента, мин; m – показатель относительной стойкости, для стали $m = 0,2$ [13]; C , C_v , K_v , x , y – коэффициенты и показатели степени, определяемые из [13]; v – скорость резания, м/мин; t – глубина резания, мм; S – подача, мм/об.

В [14] была получена более простая адекватная зависимость для определения периода стойкости инструмента при $v \geq v_n$

$$T_0 = T_n \left(\frac{v_n}{v}\right)^5. \quad (3)$$

Координаты точки *B* (v_n , T_n) перегиба кривой $T_0 = f(v)$, являющиеся границей между абразивно-окислительным и диффузионным износом, определяются из следующих зависимостей [14, 15]:

$$v_n = C^{1,25} \left(\frac{U_0}{1000\delta_0 K_p}\right)^{0,25}; \quad (4)$$

$$T_n = \frac{1000\delta_0 K_p}{v_n U_0}; \quad (5)$$

$$K_p = \frac{\sin \varphi + \sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)} \operatorname{tg} \alpha_3, \quad (6)$$

где U_0 – величина относительного размерного износа лезвия инструмента, мкм/км ($U_0 = (5-7)$ мкм/км при обработке стали резцом с

многогранной пластинкой из твердого сплава марки T15K6 [13]); δ_0 – оптимальная величина износа задней поверхности резца, мкм; K_p – коэффициент перевода линейного износа задней поверхности резца в размерный; T_n – период стойкости инструмента при скоростях резания v_n и $v_{п1}$, мин; φ , φ_1 – вспомогательный и главный углы в плане резца, град; α_3 – угол заточки задней поверхности резца, град.

Как показали исследования, при $v < v_n$ зависимостями (1) и (2) пользоваться нельзя, поскольку для периода стойкости T_0 получаем завышенное его значение (рис. 1, пунктирная линия). Поэтому для участка кривой $T_0 = f(v)$ при $v \leq v_n$ в [14] предложена следующая формула для определения периода стойкости инструмента:

$$T_0 = \frac{T_n \sqrt{e}}{e^{\frac{1}{2} \left(\frac{v}{v_n} - 4\right)^2}}, \quad (7)$$

где $v_{п1} \leq v \leq v_n$ – рациональный диапазон изменения скорости резания.

Из анализа зависимости (7) следует, что:

$$T_0^{\max} = T_n \sqrt{e}; \quad (8)$$

$$v_0 = 0,8v_n; \quad (9)$$

$$v_{п1} = 0,6v_n, \quad (10)$$

где T_0^{\max} – максимальный период стойкости инструмента, мин; v_0 – скорость резания, соответствующая максимальному периоду стойкости инструмента, м/мин; $v_{п1}$ – скорость резания, соответствующая второй точке *B*₁ перегиба кривой $T_0 = f(v)$, м/мин (рис. 1).

Однако, как показывают исследования [16], скорость резания v_0 , соответствующая максимальному периоду стойкости инструмента, меньше скорости резания v_p , соответствующей максимальному ресурсу работы инструмента. Под ресурсом работы инструмента понимается максимальная длина пути резания за период его стойкости, подсчитываемая по зависимости [3–5]

$$L = vT_0 = v \frac{T_n \sqrt{e}}{e^{\frac{1}{2} \left(\frac{v}{v_n} - 4\right)^2}}, \quad (11)$$

где L – ресурс работы инструмента, м.

Полагая, что зависимость (11) имеет максимум, для определения скорости резания, соответствующей этому максимуму, возьмем производную dL/dv и полученную функцию приравняем к нулю. В результате скорость резания v_p и период стойкости T_{op} , соответствующие максимальному ресурсу работы инструмента L_{max} , будут равны:

$$v_p = \left(0,4 + \frac{1}{\sqrt{5}}\right)v_n = 0,847v_n; \quad (12)$$

$$T_{op} = 1,603T_n; \quad (13)$$

$$L_{max} = 1,36v_n T_n = 1360\delta_0 K_p / U_0, \quad (14)$$

где v_p – скорость резания, соответствующая максимальному ресурсу работы инструмента, м/мин; T_{op} – период стойкости инструмента при скорости резания v_p , мин; L_{max} – максимальный ресурс работы инструмента, м.

Следует отметить, что с увеличением подачи S и глубины резания t значение скорости резания v_n уменьшается, а период стойкости T_n увеличивается [16]. В результате действия этих двух факторов в противоположных направлениях максимальный ресурс работы инструмента является постоянной величиной, что и отражено в (14). Максимальный ресурс работы инструмента обеспечивает уменьшение количества его переналадок, что, естественно, повышает производительность.

На основании проведенных исследований на рис. 2 представлено изменение периода стойкости инструмента T_{op} и скорости резания v_p от глубины резания t (а) и подачи S (б), обеспечивающих максимальный ресурс работы инструмента. Материал заготовки – сталь марки ст. 45, инструмента – сменная многогранная пластина из твердого сплава марки Т15К6.

Как видно из графиков на рис. 2, с увеличением глубины резания t и подачи S скорость резания v_p уменьшается, а период стойкости инструмента T_{op} увеличивается. При этом подача S в большей степени влияет на изменение скорости v_p и периода стойкости T_{op} . Так, увеличение подачи от 0,2 до 1,0 мм/об,

т. е. в пять раз, приводит к изменению этих параметров примерно в два раза ($234/120 \approx 2$). Увеличение глубины резания t от 0,2 до 1,0 мм ведет к изменению этих же параметров в 1,35 раза ($174/129 = 1,35$). На основании полученных зависимостей (2), (4), (5), (12) и (13) можно осуществить назначение рациональных режимов токарной обработки. Исходя из известных начальных условий, предлагается три метода назначения режимов резания.

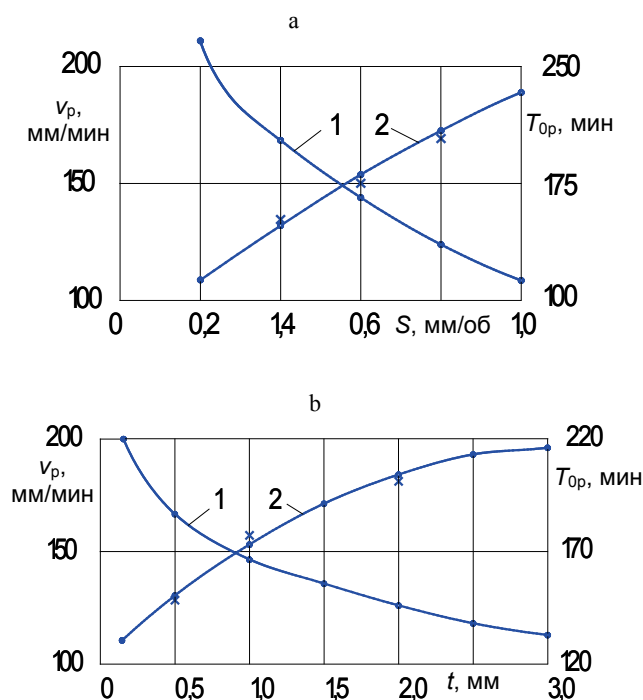


Рис. 2. Изменение скорости v_p (1) и периода стойкости T_{op} (2) от подачи S (а) и глубины резания t (б): а – для $t = 0,8$ мм; б – для $S = 0,5$ мм/об; • – расчет; × – эксперимент

Fig. 2. Changes in speed v_p (1) and durability period T_{op} (2) due to cutting depth t (a) and tool advance S (b): а – for $t = 0.8$ mm; б – for $S = 0.5$ mm/rev; • – calculation; × – experiment

При первом методе рассчитывается необходимый припуск, т. е. глубина резания t . Исходя из получения необходимой величины шероховатости, назначается подача S . Далее производится расчет скорости резания v_p наибольшего ресурса работы инструмента по алгоритму

$$t \rightarrow S \rightarrow C(2) \rightarrow v_n(4) \rightarrow T_n(5) \rightarrow v_p(12) \rightarrow T_{op}(13).$$

Второй метод основан на обеспечении времени работы инструмента, равного или кратного такту автоматической линии:

$$T_0 = \tau_m N,$$

где τ_m – такт автоматической линии; N – количество деталей (план).

Тогда период максимального ресурса работы инструмента T_{0p} принимается равным периоду T_0

$$T_{0p} = T_0 = \tau_m N.$$

Далее расчет производится по таблице или по алгоритму

$$T_{0p} = T_0 \rightarrow T_n(13) \rightarrow v_n(5) \rightarrow v_p(12) \rightarrow \\ \rightarrow C(4) \rightarrow t \rightarrow S(2).$$

Третий метод основан на том факте, что скорость резания при обработке конкретной поверхности не может быть выбрана самостоятельно, поскольку частота вращения заготовки связана с одновременной обработкой другой лимитирующей поверхности при многоинструментальной обработке. Тогда скорость резания для этой поверхности вала определяется расчетом, исходя из неизменной частоты вращения заготовки, и она для данной поверхности принимается равной скорости наибольшего ресурса работы инструмента, т. е. $v = v_p$. Далее расчет проводится по таблице или алгоритму

$$v = v_p \rightarrow v_n(12) \rightarrow T_n(5) \rightarrow T_{0p}(13) \rightarrow \\ \rightarrow C(4) \rightarrow t \rightarrow S(2).$$

При известных величинах расчетного значения снимаемого припуска (т. е. глубины резания t) и коэффициента $C(4)$ по табл. 1 определяем значение подачи S , обеспечивающей выполнение условий:

$$T_0 = T_{0p} \text{ или } v = v_{0p}.$$

Таким образом, в результате проведенных исследований решены все поставленные задачи по определению величины и диапазона изменения скорости резания, обеспечивающей максимальную стойкость и максимальный ресурс ра-

боты твердосплавного инструмента при точении валов.

Таблица 1

Значение параметра $C(4)$
для соответствующих режимов обработки [13]
Parameter value $C(4)$ for relevant machining
conditions [13]

Значение параметра $C(4)$ при глубине резания t , мм												Подача S , м/об
0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	
847	797	764	739	719	702	688	665	626	600	580	565	0,1
738	694	665	643	626	611	600	579	545	522	505	491	0,2
680	640	613	593	577	564	553	534	503	482	466	453	0,3
614	578	553	535	521	509	499	482	454	435	420	409	0,4
568	534	512	495	482	471	461	446	420	402	389	378	0,5
533	501	480	464	452	442	433	419	394	377	365	355	0,6
505	475	455	440	428	418	410	397	373	357	346	336	0,7
479	450	431	417	406	397	389	376	354	338	328	319	0,8
433	407	390	377	367	359	352	340	320	306	296	288	1,0

Примечание. Принято, что $C_v = 420$ (350; 340); $y = 0,20$ (0,35; 0,45); $x = 0,15$; $K_v = 1,0$.

ВЫВОДЫ

1. Разработана методика назначения рационального режима обработки для средних и больших скоростей резания, обеспечивающего максимальный ресурс работы инструмента и производительности.

2. Установлен диапазон изменения скорости резания от $0,6v_n$ до $0,8v_n$, когда увеличение скорости резания приводит к повышению стойкости инструмента и соответственно производительности.

3. Выбор скорости резания, соответствующей наибольшему ресурсу работы инструмента, при увеличении глубины резания и подачи ведет к повышению периода стойкости инструмента.

4. Установлен рациональный диапазон изменения скорости резания от $0,6v_n$ до v_n , обеспечивающий повышенную стойкость инструмента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ящерицын, П. И. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах / П. И. Ящерицын.

- рицын, М. Л. Еременко, Е. Э. Фельдштейн. Минск: Высш. шк., 1990. 512 с.
2. Грановский, Г. И. Обработка результатов экспериментальных исследований резания металлов / Г. И. Грановский. М.: Машиностроение, 1982. 112 с.
 3. Развитие науки о резании металлов / В. Ф. Бобров [и др.]. М.: Машиностроение, 1967. 416 с.
 4. Аваков, А. А. Физические основы теорий стойкости режущих инструментов / А. А. Аваков. М.: Mashgiz, 1960. 308 с.
 5. Грановский, Г. И. Резание металлов / Г. И. Грановский, В. Г. Грановский. М.: Высш. шк., 1985. 304 с.
 6. Лолодзе, Т. Н. Износ режущего инструмента / Т. Н. Лолодзе. М.: Машиностроение, 1958. 357 с.
 7. Шатуров, Д. Г. Состояние и пути повышения износостойкости лезвийного инструмента в широком диапазоне изменения скорости резания / Д. Г. Шатуров, Г. Ф. Шатуров, М. В. Панков // Вестник Белорусско-Российского университета. 2017. № 1. С. 100–109.
 8. Макаров, А. Д. Оптимизация процессов резания / А. Д. Макаров. М.: Машиностроение, 1976. 279 с.
 9. Бобров, В. Ф. Основы теории резания металлов / В. Ф. Бобров. М.: Машиностроение, 1958. 357 с.
 10. Зорев, Н. Н. О процессе износа твердосплавного инструмента / Н. Н. Зорев, Д. Н. Клауч, В. А. Батырев // Вестник машиностроения. 1971. № 11. С. 70–73.
 11. Даниелян, А. М. Теплота и износ инструментов в процессе резания металлов / А. М. Даниелян. М.: Машиностроение, 1954. 276 с.
 12. Кожевников, Д. В. Резание металлов / С. В. Кожевников. 2-е изд., доп. М.: Машиностроение, 2012. 304 с.
 13. Справочник технолога машиностроителя: в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1985. Т. 2. 495 с.
 14. Шатуров, Д. Г. Технологические возможности управления режущей способностью лезвийного инструмента / Д. Г. Шатуров, Г. Ф. Шатуров // Вестник Белорусско-Российского университета. 2016. № 2. С. 112–119.
 15. Шатуров, Д. Г. Технологические особенности чистой токарной обработки валов / Д. Г. Шатуров, Г. Ф. Шатуров, А. А. Жолобов. Могилев: Белор.-Рос. ун-т, 2015. 192 с.
 16. Шатуров, Д. Г. Ресурс работы лезвийного инструмента при обработке / Д. Г. Шатуров, Г. Ф. Шатуров // Вестник Белорусско-Российского университета. 2016. № 4. С. 90–98.

Поступила 27.10.2017
 Подписана в печать 28.12.2017
 Опубликована онлайн 29.01.2018

REFERENCES

1. Yashcheritsyn P. I., Yeremenko M. L., Feldstein E. E. (1990) *Theory of Cutting. Physical and Thermal Processes in Technological Systems*. Minsk, Vysshaya Shkola Publ. 512 (in Russian).
2. Granovskii G. I. (1982) *Data Processing of Experimental Investigations on Metal Cutting*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ. 112 (in Russian).
3. Bobrov V. F., Granovskii G. I., Zorev N. N., Isaev A. I., Klushin M. I., Larin M. N., Loladze T. N. (1967) *Development of Science Dealing with Metal Cutting*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ. 416 (in Russian).
4. Avakov A. A. (1960) *Physical Fundamentals of Stability Theory for Cutting Tools*. Moscow, Mashgiz Publ. 308 (in Russian).
5. Granovskii G. I., Granovskii V. G. (1985) *Metal Cutting*. Moscow, Vysshaya Shkola. 304 (in Russian).
6. Loladze T. N. (1958) *Cutting Tool Wear*. Moscow, Mashinostroyeniye. 357 (in Russian).
7. Shaturov D. G., Shaturov G. F., Pankov M. V. (2017) State and Ways to Increase Wear Resistance of Edge Tool Within Wide Range of Changes in Cutting Speed. *Vestnik Belorussko-Rossiiskogo Universiteta* [Bulletin of Belarusian-Russian University], (1), 100–109 (in Russian).
8. Makarov A. D. (1976) *Optimization of Cutting Processes*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ. 279 (in Russian).
9. Bobrov V. F. (1958) *Fundamentals of Metal Cutting Theory*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ. 357 (in Russian).
10. Zorev N. N., Klauch D. N., Batyrev V. A. (1971) On Wearing Process of Carbide Tool. *Vestnik Mashinostroyeniya*, (11), 70–73 (in Russian).
11. Danielyan A. M. (1954) *Heat and Wear of Tools in Metal Cutting Process*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ. 276 (in Russian).
12. Kozhevnikov D. V. (2012) *Metal Cutting*. 2nd ed. Moscow, Mashinostroyeniye. 304 (in Russian).
13. Kosilova A. G., Meshcheriakova R. K. (eds.) (1985) *Reference Book of Mechanical Engineering Technologist. Vol. 2*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ. 495 (in Russian).
14. Shaturov D. G., Shaturov G. F. (2016) Technological Possibilities to Control Cutting Ability of Edge Tool. *Vestnik Belorussko-Rossiiskogo Universiteta* [Bulletin of Belarusian-Russian University], (2), 112–119 (in Russian).
15. Shaturov D. G., Shaturov G. F., Zholobov A. A. (2015) *Technological Specific Features of Finishing Turning Machining*. Mogilev, Belarusian-Russian University. 192 (in Russian).
16. Shaturov D. G., Shaturov G. F. (2016) Operational Resource of Edge Tool During Machining Process. *Vestnik Belorussko-Rossiiskogo Universiteta* [Bulletin of Belarusian-Russian University], (4), 90–98 (in Russian).

Received: 27.10.2017
 Accepted: 28.12.2017
 Published online: 29.01.2018