

УДК 621.91.01

**Оптимальное управление прочностью режущих частей инструментов
из СТМ при точении жаропрочных сплавов на станках с ЧПУ**

В. А. Белозёров*, Б. В. Барбышев

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

**e-mail: belozarov48@mail.ru*

Аннотация. Рассматривается разработанная и реализованная в процессе резания методология управления динамической прочностью режущих частей при вершинах инструментов из СТМ одновременно на передних и задних поверхностях этих инструментов при тонком точении жаропрочных сплавов на станках с ЧПУ. Указанная методология основывается на разработанной нами оптимизационной (физической, тепловой) модели процесса тонкого точения жаропрочных сплавов инструментами из СТМ и предлагаемой концепции прохождения процесса взаимодействия обрабатываемого и инструментального материалов в условиях оптимизации контактных напряжений и температур одновременно на передней и задней поверхностях инструмента из СТМ при резании.

Ключевые слова: точение; станки с ЧПУ; контактные напряжения; управление динамической прочностью; инструменты из СТМ

**Optimal management strength of cutting parts of tools from STM
when there is turning heat-resistant alloys on CNC machines**

Vladimir A. Belozarov*, Boris V. Barbyshev

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**e-mail: belozarov48@mail.ru*

Abstract. The article considers the developed and implemented in the cutting process methodology for managing the dynamic strength of the cutting parts with the tops of tools from STM simultaneously on the front and back surfaces of these tools at thin turning of heat-resistant alloys on CNC machines. The specified methodology is based on optimizing (physical, thermal) models of process of thin turning of heat-resistant alloys tools from STM developed by us and the offered concept of passing of process of interaction of the processed and tool materials in the conditions of optimization of contact voltage and temperatures at the same time on the front and back surfaces of the tool from STM when cutting.

Key words: turning; CNC machines; contact voltage; dynamic strength management; tools from STM

Введение

Для проведения классификации предлагаемого нами управления процессом резания (процессом нагружения режущей части инструмента) и динамической прочностью режущей части инструмента из СТМ на станках с ЧПУ, обрабатывающих центрах, ГПМ и в условиях ГПС на основании оптимизации процесса резания [1] проанализируем общие вопросы управления работоспособностью режущего инструмента, рассматриваемые в работе В. К. Старкова [2], в которой указывается, что «...сохранение работоспособного состояния режущего инструмента в течение заданного периода времени связано с решением следующих задач: 1) отбраковки режущего инструмента (например, методами магнитной или ультразвуковой дефектоскопии) по дефектам, которые могут привести к его внезапным отказам при эксплуатации; 2) установления условий резания, в которых инструмент будет работать с нормальным изнашиванием (регулярный абразивно-механический износ); 3) оптимизации конструктивно-геометрических параметров режущего инструмента и режима резания, которые обеспечат гарантированную работоспособность инструмента; 4) определения критических условий резания, при которых требуется обязательное диагностирование состояния режущего инструмента».

Анализ характеристик признаков классификации оптимизации как метода управления обработкой резанием (и управления динамической прочностью режущей части при вершине инструмента из СТМ) на станках с ЧПУ по методике В. К. Старкова [2] показал, что разработанная оптимизация: 1) параметрическая; 2) внутренняя; 3) многокритериальная (многоцелевая); 4) комплексная; 5) стохастическая (динамическая); 6) дифференциальная (локальная) — с учетом экономического критерия оптимальности при обработке на станках с ЧПУ.

Объект и методы исследования

Эксплуатация на производстве сборных режущих инструментов показывает, что их работоспособность во многом определяется физико-механическими и теплофизическими свойствами инструментального материала, способом базирования и крепления сменной многогранной пластины (СМП), формой и типом используемой пластины, параметрами режима резания [3–5].

Мы провели исследования тонкого точения жаропрочных сплавов, сталей, закаленных легированных сталей с твердостью до HRC 35-40 (средняя твердость) проходными и подрезными резцами с круглыми двухсторонними неперетачиваемыми пластинами $D = 5,56$ мм из композита 10Д (гексанит-Р), проходными и подрезными резцами с круглыми двухсторонними неперетачиваемыми пластинами $D = 7,0$ мм из композита 05ИТ. Эти инструментальные СТМ являются хрупкими (имеют низкие пределы прочности на сжатие σ_c), и резцы из СТМ требуют соответствующих условий применения на автоматизированном оборудовании — станках с ЧПУ.

Наиболее часто встречающиеся виды разрушений СМП из СТМ — это осыпания, выкрашивания, сколы, которые возникают из-за интенсификации параметров режимов резания. Одной из задач управления процессом резания и

динамической прочностью режущей части инструмента из СТМ является минимизация указанных видов разрушений СМП из СТМ или почти полное ускорение разрушения режущей части инструмента из СТМ, когда будет происходить только преимущественно регулярный абразивно-механический износ на задней поверхности инструмента из СТМ.

Контактные характеристики процесса тонкого точения, когда коэффициент укорочения стружки K_L (усадка стружки) изменяется от 1 до 2, не исследовались авторами научной школы М. Ф. Полетика [6].

Г. Ф. Андрейченко [7] рассматривает контактные характеристики точения с малыми сечениями среза твердосплавными резцами. Но процесс резания инструментами из СТМ на основе КНБ жаропрочных никелевых сплавов имеет ряд особенностей, связанных с физико-механическими и теплофизическими характеристиками СТМ.

Экспериментально установлено, что из трех рассматриваемых резцов из СТМ — эльбор-Р, композит 05ИТ, гексанит-Р — меньшей величине коэффициента теплопроводности инструментального материала у гексанита-Р соответствуют большая температура и контактные напряжения на передней поверхности при постоянном коэффициенте укорочения стружки K_L . Соответственно, у резца из гексанита-Р уменьшаются температура и контактные напряжения на задней поверхности.

Экспериментальными исследованиями прохождения контактных процессов на задней поверхности режущего инструмента занимались М. Ф. Полетика [6] Н. Н. Зорев [8], А. М. Розенберг [9] и другие авторы.

Н. Н. Зорев [8] и А. М. Розенберг [9] независимо друг от друга разработали метод экстраполяции силовой зависимости от толщины срезаемого слоя «а» на нулевую толщину, позволяющий экспериментально измеренные силы резания разделить на силы, действующие на переднюю и заднюю поверхности инструмента. В основу этого метода было взято утверждение, что силы, действующие на заднюю поверхность, при определенных условиях (постоянной температуре резания $\theta^\circ = \text{const}$ или постоянном коэффициенте укорочения стружки — коэффициенте усадки стружки — $K_L = \text{const}$) не зависят от толщины срезаемого слоя.

Поскольку силы N_1 и F_1 на задней поверхности не зависят от толщины среза, то для разделения сил на передней и задней поверхностях резца нами использованы методы экстраполяции линий зависимостей, составляющих силы резания от толщины среза на нулевую толщину среза, один из которых был разработан А. М. Розенбергом при постоянной температуре резания, другой — Н. Н. Зоревым при постоянном коэффициенте укорачивания (усадки) стружки. Экстраполяция линий зависимостей, составляющих P_z и P_y силы резания на нулевую толщину среза, осуществлялась при постоянном коэффициенте K_L .

Измерение величин вертикальной P_z и радиальной P_y , составляющих силы резания, осуществлялось динамометром УДМ-100 при тонком точении жаропрочных сплавов. Методом экстраполяции на нулевую толщину среза при постоянном коэффициенте K_L были определены силы N_1 и F_1 на задней поверхности. Для экспериментального определения сил N_1 и F_1 найдены зависимости $P_y = f_1(a)$ и $P_z = f_2(a)$ (a — толщина срезаемого слоя). При экстраполяции $P_y = f_1(a)$ на нулевую толщину среза точка пересечения с осью y дает значение силы N_1 , а точка пересечения зависимости $P_z = f_2(a)$ с осью z — значение силы F_1 .

В результате экспериментальных исследований М. Ф. Полетика [6] пришел к выводу, что «...силы нормального давления N_1 и силы трения F_1 на задней поверхности “острого” резца зависят от механических свойств обрабатываемого материала и от коэффициента укорочения стружки, возрастаая как с повышением первых, так и с увеличением второго».

Проведенные нами исследования, а также выводы Н. Н. Зорева [8] являются подтверждением того, что коэффициент укорочения (укорачивания) стружки K_L (усадка стружки) является определяющей характеристикой деформационных процессов в зоне резания при физическом взаимодействии обрабатываемого и инструментального материалов в процессе резания (одновременно с температурой резания $\theta^\circ\text{p}$).

В то же время нами получено подтверждение (опираясь на экспериментальные исследования М. Ф. Полетика [6]), что коэффициент укорочения стружки K_L является физической характеристикой, определяющей контактные процессы и величины контактных характеристик не только на передней, но и на задней поверхности режущего инструмента.

Результаты

В связи с разработкой принципов управления динамической прочностью режущей частью инструмента из СТМ при тонком точении жаропрочного сплава на станке с ЧПУ, опирающегося на физические закономерности взаимодействия обрабатываемого и инструментального материалов в процессе резания, далее необходимо осуществить критический анализ и обобщения, связанные с исследованиями физических особенностей контактных процессов на передней и задней поверхностях режущего инструмента ряда авторов (исследователей: М. Ф. Полетика [6], Н. Н. Зорева [8], А. М. Розенберга [9], А. Д. Макарова [10], Ю. И. Некрасова [11], М. Х. Утешева [12]).

Созданию моделей технологических систем, диагностике и управлению процессом обработки резанием труднообрабатываемых сплавов на станках с ЧПУ посвящены также работы современных исследователей Р. Ю. Некрасова [13–15], С. В. Грубого [16] и других авторов.

Большинство факторов, влияющих на интенсивность износа инструмента, являются функциями температуры контактных поверхностей, то есть фактически температуры резания. Это позволило А. Д. Макарову [10] сформулировать положение следующее положение: «...оптимальным скоростям резания (для заданного материала режущей части инструмента) при различных комбинациях скорости резания, подачи и глубины резания соответствует постоянная температура в зоне резания (оптимальная температура резания — $\theta^{\text{опт}}_{\text{рез}}$)».

Ю. И. Некрасов [11], опираясь, в том числе на метод А. Д. Макарова [10], при обработке труднообрабатываемых материалов в диапазоне режимов резания «за наростом» сделал вывод, что сочетания режимов резания, при которых коэффициент укорочения стружки (усадка стружки) не изменяется ($K_L^{\text{опт}} = \text{const}$), обеспечивают постоянство силового (средние нормальные контактные напряжения $q_N^{\text{опт}} = \text{const}$) и температурного нагружения (средняя температура резания $\theta^{\text{опт}} = \text{const}$) режущих кромок и режим поддержания постоянства коэффициента запаса динамической прочности режущей части инструмента при вершине ($n^{\text{опт}} = \text{const}$).

Выдающийся экспериментатор и теоретик исследования контактных процессов на режущих поверхностях инструмента в процессе обработки М. Ф. Полетика в 1969 году [6] не имел такого мощного инструмента, как оп-

тимизация контактных процессов — тем более одновременно на передней и задней поверхностях режущего инструмента в процессе обработки.

М. Х. Утешев [12] разработал температурную концепцию работы и разрушения режущего инструмента, которая является основой для наших экспериментальных и теоретических исследований контактных процессов на режущих поверхностях инструмента из СТМ, а также основой расчета на динамическую прочность и проектирования режущей части инструмента.

Оптимизационная модель управления процессом нагружения режущих частей инструментов из СТМ при тонком точении жаропрочных сплавов, сталей, закаленных легированных сталей на станках с ЧПУ реализуется в процессе резания за счет обеспечения одновременного постоянства оптимальных контактных напряжений $q_N^{\text{опт}} = \text{const}$ и оптимальных контактных характеристик $K_L^{\text{опт}} = \text{const}$, $\theta_{\text{рез}}^{\text{опт}} = \text{const}$ на передней поверхности и постоянства оптимальных контактных напряжений $q_{F1}^{\text{опт}} = \text{const}$, $q_{N1}^{\text{опт}} = \text{const}$, оптимальной контактной характеристики коэффициента трения $\mu_1^{\text{опт}} = \frac{q_{F1}^{\text{опт}}}{q_{N1}^{\text{опт}}} = \text{const}$ на задней поверхности инструмента [17].

На стадии проектирования операции обработки на станке с ЧПУ задействованы критерии оптимальности: 1) Экономический — наибольшая экономическая эффективность (прибыль) (E_{max}) точения поверхности детали из жаропрочного сплава резцом из СТМ на станке с ЧПУ. 2) Критерий надежности работы режущего инструмента ($P^{\text{опт}}$) — постоянная оптимальная вероятность безотказной работы резца из СТМ при тонком точении жаропрочного сплава на станке с ЧПУ. Поскольку режущий инструмент является объектом временного использования, то при его применении учитывается параметр надежности — вероятность безотказной работы (это вероятность того, что в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки не возникает отказ инструмента). 3) Критерий прочности режущего инструмента ($n^{\text{опт}}$) — постоянный оптимальный коэффициент динамической прочности режущей части инструмента при его вершине. 4) Критерий физического взаимодействия обрабатываемого и инструментального материалов в процессе тонкого точения жаропрочного сплава резцом из СТМ на станке с ЧПУ ($K_L^{\text{опт}}$) — постоянный оптимальный коэффициент укорочения стружки (коэффициент усадки стружки).

По величине $K_L^{\text{опт}}$ графически определяется постоянная оптимальная экономическая скорость резания $V_s^{\text{опт}}$ при тонком точении жаропрочного сплава на станке с ЧПУ при постоянных глубине резания t и подаче $s(a)$.

Характеристика динамической прочности режущей части инструмента из СТМ — постоянный оптимальный коэффициент запаса инструмента из СТМ при вершине $n^{\text{опт}}$ при тонком точении жаропрочного сплава на станке с ЧПУ — это фактически основная критериальная характеристика работы режущего инструмента без разрушений его режущей части при вершине или при минимизации этих разрушений, поэтому производится автоматическое управление именно динамической прочностью режущей части инструмента из СТМ при вершине, а не другими параметрами процесса резания. Это управление является определяющим фактором в процессе тонкого точения жаропрочных сплавов резцами из СТМ на станках с ЧПУ. В связи с этим появляется понятие «работоспособность» — это состояние режущего инструмента, при котором он способен выполнять заданные функции с параметрами, установленными требованиями технической документации. Термин «работоспособность» применяется в теории надежности, при этом ею характеризуют различные показате-

ли надежности, долговечности и т. д. Инструмент работоспособен тогда, когда он может нормально работать, выполняя свои основные функции.

Экономическая оптимизация тонкого точения жаропрочных сплавов и закаленных легированных сталей твердостью HRC 33-39 резцами из СТМ на станках с ЧПУ показала, что соотношение между скоростями резания V_3 и V_h составляет $V_3 = (2 \div 2,3) \cdot V_h$ (V_h — скорость резания, соответствующая минимальному относительному износу резца по задней поверхности).

На основании реализации метода экономической оптимизации разработаны в качестве банка данных на ПЭВМ карты выбора оптимальных экономических параметров режимов резания и оптимальных контактных характеристик одновременно на передних и задних поверхностях инструментов из СТМ при тонком точении жаропрочных сплавов, закаленных легированных и закаленных конструкционных сталей твердостью HRC 35-40 на станках с ЧПУ.

На втором этапе — в процессе резания — смысл управления динамической прочностью режущей части инструмента из СТМ одновременно на его передней и задней поверхностях связан с опорой на ранее установленные физические закономерности взаимодействия обрабатываемого и инструментального материалов при тонком точении жаропрочных сплавов на станках с ЧПУ.

Оптимальное управление прочностью режущей части инструмента из СТМ в процессе резания в соответствии с классификациями систем управления процессом резания [2, 18] может быть отнесено к системам предельного контроля за параметрами процесса резания.

Выводы

Достоинством реализации оптимального управления прочностью при вершине режущей части инструмента из СТМ одновременно на его передней и задней поверхностях при тонком точении жаропрочных сплавов и сталей на станках с ЧПУ является учет определенных нами закономерностей физического взаимодействия жаропрочного сплава и режущей части при вершине инструмента из СТМ в процессе обработки и также то, что, в отличие от аналогичных методов управления процессом резания, при этой разработанной нами методике устраняются требования, связанные с применением сложных приборов и устройств для оперативной диагностики характеристик процесса резания (сил резания, температур и др.). Контактное взаимодействие жаропрочного сплава и резца из СТМ осуществляется как самостоятельное (естественно физическое) управление оптимальными постоянными контактными характеристиками (силы, температуры, контактные напряжения, коэффициенты трения) одновременно на передней и задней поверхностях инструмента из СТМ, а также управление оптимальными постоянными параметрами режима резания при их экономической оптимизации на станке с ЧПУ.

Библиографический список

1. Белозёров В.А. Оптимизационная модель процесса тонкого точения жаропрочных сплавов инструментами из СТМ // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. — 2015. — № 5. — С. 90–95. DOI: 10.31660/0445-0108-2015-5-90-95
2. Старков В. К. Физика и оптимизация резания материалов. — М.: Машиностроение, 2009. — 639 с.
3. Грубый С. В. Методы оптимизации режимных параметров лезвийной обработки: учеб. пособие. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. — 96 с.

4. Mechanics of chip formation in cutting / E. V. Artamonov [et al.] // Russian Engineering Research. – 2017. – № 37. – P. 450–454. DOI: 10.3103/S1068798X17050069
5. Putilova Yu. S., Starikov A. I., Kharitonov D. A. Definition of deformation of the cut-off layer and rational loading of the cutting tool when turning on CNC machines // Russian Engineering Research. – 1991. – Vol. 34, Issue 12. – P. 826–828.
6. Полетика М. Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. – М.: Машиностроение, 1969. – 180 с.
7. Андрейченко Г. Ф. О зависимости усадки стружки от параметров, определяющих геометрию среза при точении с малыми сечениями среза // Межвузовский научно-технический сборник. – № 20. – Харьков, 1978. – С. 114–118.
8. Зорев Н. Н. Вопросы механики процесса резания металлов. – М.: Машгиз, 1956. – 368 с.
9. Розенберг А. М., Еремин А. М. Элементы теории процесса резания металлов. – М.: Машгиз, 1956. – 318 с.
10. Макаров А. Д. Оптимизация процесса резания. – М.: Машиностроение, 1976. – 276 с.
11. Некрасов Ю. И. Исследования технологической эффективности обработки трудно-обрабатываемых материалов на токарных станках с ЧПУ при управлении процессами нагружения режущей части инструмента: Автореф. дис. канд. техн. наук. – ИСМАН УССР, Киев, 1981. – 24 с.
12. Утешев М. Х. Разработка научных основ расчета прочности режущей части инструмента по контактным напряжениям с целью повышения его работоспособности: Автореф. дис. д-ра техн. наук. – Томск, 1996. – 36 с.
13. Nekrasov R. Yu., Starikov A. I., Soloviev I. V. Simulation of technological systems for diagnosis and management with CNC // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 770. – P. 617–621. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.770.617
14. Nekrasov R. Yu., Starikov A. I., Lasuhov A. A. Entering the operative correction machining processes CNC // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – Vol. 91. DOI: 10.1088/1757-899X/91/1/012042
15. Diagnostic of cut-layer deformation and rational tool loading in numerically controlled lathes / R. Yu. Nekrasov [et al.] // Russian Engineering Research. – 2014. – Vol. 34, Issue 12. – P. 826–828.
16. Controlling the type and the form of chip when machining steel / S. V. Gruby [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 142. DOI: 10.1088/1757-899X/142/1/012065
17. Belozеров V. A., Uteshev M. H. Physical Modeling of Contact Processes on the Cutting Tools Surfaces of STM When Turning // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 142. DOI: 10.1088/1757-899X/142/1/012075
18. Башков В. М., Сосон А. Н. Современные направления в разработке методов назначения режимов резания металлов // Прогрессивный режущий инструмент. Высокопроизводительное резание. – М.: ВНИИ, 1978. – С. 113–120.

References

1. Belozеров, V. A. (2015). The optimization model of the process of fine turning of heat-resistant alloys by tools made from STM. Oil and Gas Studies, (5), 90-95. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2015-5-90-95
2. Starkov, V. K. (2009). Physics and optimization of cutting of materials. Moscow, Mashinostroenie Publ., 639 p. (In Russian).
3. Gruby, S. V. (2008). Metody optimizatsii rezhimnykh parametrov lezviynoy obrabotki. Moscow, Bauman University Publ., 96 p. (In Russian).
4. Artamonov, E. V., Vasil'ev, D. V., Kireev, V. V., & Uteshev, M. H. (2017). Mechanics of chip formation in cutting. Russian Engineering Research, (37), pp. 450-454. (In English). DOI: 10.3103/S1068798X17050069

5. Putilova, Yu. S., Starikov, A. I., & Kharitonov, D. A. (1991). Definition of deformation of the cut-off layer and rational loading of the cutting tool when turning on CNC machines. *Russian Engineering Research*, 34(12), pp. 826-828. (In English).
6. Poletika, M. F. (1969). *Kontaktnye nagruzki na rezhushchikh poverkhnostyakh instrumenta*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 180 p. (In Russian).
7. Andreychenko, G. F. (1978). O zavisimosti usadki struzhki ot parametrov, opredelyayushchikh geometriyu sreza pri tochenii s malymi secheniyami sreza. *Mezhvuzovskiy nauchno-tekhnicheskiiy sbornik*, (20). Kharkov, pp. 114-118. (In Russian).
8. Zorev N. N. (1956). *Voprosy mekhaniki protsessa rezaniya metallov*. Moscow, Mashgiz Publ., 368 p. (In Russian).
9. Rozenberg, A. M., & Eremin, A. M. (1956). *Elementy teorii protsessa rezaniya metallov*. Moscow, Mashgiz Publ., 318 p. (In Russian).
10. Makarov, A. D. (1976). *Optimizatsiya protsessa rezaniya*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 276 p. (In Russian).
11. Nekrasov, Yu. I. (1981). *Issledovaniya tekhnologicheskoy effektivnosti obrabotki trudnoobrabatyvaemykh materialov na tokarnykh stankakh s CHPU pri upravlenii protsessami nagruzheniya rezhushchey chasti instrumenta*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk. ISMAN USSR, Kiev, 24 p. (In Russian).
12. Uteshev, M. H. (1996). *Razrabotka nauchnykh osnov rascheta prochnosti rezhushchey chasti instrumenta po kontaktnym napryazheniyam s tsel'yu povysheniya ego rabotosposobnosti*: Avtoref. dis. dokt. tekhn. nauk. Tomsk, 36 p. (In Russian).
13. Nekrasov, R. Yu., Starikov, A. I., & Soloviev, I. V. (2015). Simulation of technological systems for diagnosis and management with CNC. *Applied Mechanics and Materials*, 770, pp. 617-621. (In English). DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.770.617
14. Nekrasov, R. Yu., Starikov, A. I., & Lasuhov, A. A. (2015). Entering the operative correction machining processes CNC. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 91. (In English). DOI: 10.1088/1757-899X/91/1/012042
15. Nekrasov, R. Yu., Putilova, Yu. S., Nekrasov, Yu. I., Starikov, A. I., & Kharitonov, D. A. (2014). Diagnostic of cut-layer deformation and rational tool loading in numerically controlled lathes. *Russian engineering research*, 34(12), pp. 826-828. (In English).
16. Gruby, S. V., Lasukov, A. A., Nekrasov, R. Yu., Politsinsky, E. V., & Arkhipova, D. A. (2016). Controlling the type and the form of chip when machining steel. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 142. (In English). DOI: 10.1088/1757-899X/142/1/012065
17. Belozеров, V. A., & Uteshev, M. H. (2016). Physical Modeling of Contact Processes on the Cutting Tools Surfaces of STM When Turning. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 142. (In English). DOI: 10.1088/1757-899X/142/1/012075
18. Bashkov, V. M., & Soson A. N. (1978). *Sovremennye napravleniya v razrabotke metodov naznacheniya rezhimov rezaniya metallov*. Progressivnyy rezhushchiy instrument. Vysoko-proizvoditel'noe rezanie. Moscow, VNII Publ., pp. 113-120. (In Russian).

Сведения об авторах

Белозёров Владимир Анатольевич, к. т. н., доцент кафедры технологии машиностроения, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, e-mail: belozеров48@mail.ru

Барбышев Борис Валентинович, к. т. н., доцент кафедры станков и инструментов, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Information about the authors

Vladimir A. Belozеров, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Technology of Machine Building, Industrial University of Tyumen, e-mail: belozеров48@mail.ru

Boris V. Barbyshev, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Machines and Tools, Industrial University of Tyumen