

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-5-53-66>

Рекомендации по выбору сменных режущих многогранных пластин для оснащения проходных токарных резцов

Е.А. Кудряшов¹, И.М. Смирнов¹, Д.В. Гришин^{1,2} ✉

¹ АО «Научно-исследовательский инженерный институт»
ш. Энтузиастов, 6, г. Балашиха, 143912, Московская обл., Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»
ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: kea-swsu@mail.ru

Резюме

Цель исследования. Основной технологической проблемой инструментального обеспечения операций механической обработки точением поверхностей деталей различной конструктивной сложности является выбор рациональной конструкции сменной режущей многогранной пластины для оснащения проходных резцов. Известные технические решения связаны с подбором формы сменной пластины и рациональных геометрических параметров ее режущего элемента к практически максимально приближенному искомому варианту. Однако в условиях действующего машиностроительного производства невозможно, да и экономически невыгодно иметь большое количество стандартных режущих пластин с пошаговой градацией геометрических параметров. Следует учитывать, что операция точения конструктивно сложных поверхностей деталей класса 71-Тела вращения характеризуется многовариантностью инструментального оснащения, касающегося как выбора оптимальной конструкции инструмента, так и рациональной марки его режущей части. Наиболее трудоемкая часть решаемой задачи связана с исполнением комплексного требования, предъявляемого к марке инструментального материала, а именно: сохранению необходимой стойкости в условиях прерывистого резания, в пределах границ заданной партии деталей, при обеспечении установленных производственным заданием производительности, точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей сложного профиля.

Методы. Для решения поставленной задачи использованы методы системного анализа, позволившие установить функциональную взаимосвязь между конструктивной сложностью обрабатываемых резанием поверхностей сложного профиля и конструкцией сменной режущей многогранной пластины проходного токарного резца.

Результаты. Показано, что потенциально лучшей маркой инструментального материала, для условий чистого точения конструктивно сложных поверхностей, является композит 10. Представлены характеристики инструментальных материалов, позволяющие альтернативным выбором рациональной марки сменной режущей многогранной пластины подтвердить адекватность принятых решений.

Заключение. Разработаны рекомендации по выбору конструктивной формы и марки инструментального материала сменных режущих многогранных пластин для операций чистого точения поверхностей сложного профиля деталей класса 71-Тела вращения. Показано, что применение рациональной формы режущего элемента способно, в условиях прерывистого резания, обеспечить заданные показатели производительности, точности и качества обработки.

Ключевые слова: поверхность сложного профиля; проходной резец; сменная режущая многогранная пластина; композит; работоспособность режущего элемента; точность; качество обработки.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Кудряшов Е.А., Смирнов И.М., Гришин Д.В. Рекомендации по выбору сменных режущих многогранных пластин для оснащения проходных токарных резцов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019; 23(5): 53-66. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-5-53-66>.

Статья поступила в редакцию 19.08.2019

Статья подписана в печать 25.09.2019

Статья опубликована 25.10.2019

Recommendations for the Selection of Changeable Indexable Inserts for Straight Turning Tools

Evgeny A. Kudryashov ¹, Igor M. Smirnov ¹, Dmitry V. Grishin ^{1,2} ✉

¹ JSC Scientific Research Engineering Institute
6 Enthusiastov str., Balashikha, Moscow Region 143912, Russian Federation

² Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: kea-swsu@mail.ru

Abstract

Purpose of research. The main technological problem of tooling backup of machining operations by turning the surfaces of parts of various structural complexities is the choice of the rational design of a changeable indexable insert for equipping straight-turning tool. Known technical solutions are associated with the selection of the shape of the changeable insert and the rational geometric parameters of its cutting element to the closest possible desired option. However, in the current engineering industry it is impossible, and it is economically unprofitable to have a large number of standard cutting inserts with step-by-step gradation of geometric parameters. It should be noted that the operation of turning structurally complex surfaces of parts of the class 71-Body of rotation is characterized by the multivariance of tooling backup, concerning both the selection of the optimal tool design and the rational grade of its cutting part. The most time-consuming part of the task is related to the fulfillment of the multiple requirements for the grade of tool material, namely: maintaining the necessary resistance in the conditions of interrupted cutting, within the boundaries of a given batch of parts, while ensuring the productivity, accuracy and roughness of the machined surfaces of complex profiles established by the production task.

Methods. To solve this problem, methods of system analysis were used, which made it possible to establish a functional relationship between the structural complexity of surfaces machined by cutting of complex profile and the design of changeable indexable insert of straight turning tool.

Results. It has been shown that the composite 10 is potentially the best grade of tool material, for clean turning of structurally complex surfaces. The characteristics of tool materials are presented that allow, by alternative choice of a rational grade of changeable indexable insert, to confirm the adequacy of the decisions made.

Conclusion Recommendations have been developed on choosing the structural form and grade of tool material of changeable indexable inserts for clean turning operations on surfaces of complex profiles of parts of the class 71-Body of rotation. It is shown that the use of a rational shape of the cutting element is capable, under intermittent cutting, to provide predetermined performance indicators, accuracy and processing quality.

Keywords: *surface of complex profile; straight turning tool; changeable indexable insert; composite; cutting element operability; accuracy; processing quality.*

Conflict of Interest: *The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.*

For citation: Kudryashov E. A., Smirnov I. M., Grishin D. V. *Recommendations for the selection of changeable indexable inserts for straight turning tools. Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University.* 2019, 23(5): 53-66 (In Russ.). [https://doi.org/ 10.21869/2223-1560-2019-23-5-53-66](https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-5-53-66).

Received 19.08.2019

Accepted 25.09.2019

Published 25.10.2019

Введение

Современное состояние технологии обработки резанием, с позиции повышения эффективности применения металлорежущего инструмента, базируется на фундаментальных и прикладных знаниях инструментального обеспечения процессов изготовления поверхностей различной конструктивной и технологической сложности. Основу инструментального обеспечения современных машиностроительных производств составляют сборные конструкции режущего инструмента с механическим креплением сменных многогранных пластин (СМП).

Характерной особенностью лезвийного инструмента, применяемого для обработки точением конструктивно сложных поверхностей деталей, образованных сочетанием поверхностей вращения с элементами разрыва, является наличие высоких требований, предъявляемых не только к качеству подготовки режущих кромок СМП, но и к работоспособности в условиях прерывистого резания. Известно, что наиболее слабым звеном системы точения является

режущая часть СМП, поскольку большинство отказов в работе сборного инструмента приходится на его режущий элемент. Поэтому совершенствованием процесса механической обработки с сохранением высокой работоспособности инструмента за счет усовершенствования классической формы передней поверхности режущего элемента на более сложную, позволяющей совместить высокую точность с производительностью чистовой токарной обработки в условиях прерывистого резания, является актуальной научной задачей.

Материалы и методы

Практическим решением важнейшей научной и производственной задачи по интенсификации процесса металлообработки деталей машин высокой конструктивной и технологической сложности является применение инструментов, оснащенных СМП из различных модификаций кубического нитрида бора (торговая марка – композиты).

Эти искусственные лезвийные сверхтвердые материалы находят применение на различных операциях механической обработки, однако широкое их внедре-

ние сдерживается из-за высокой хрупкости режущих элементов вследствие отсутствия необходимой размерной стойкости в условиях точения поверхностей сложного профиля (прерывистые поверхности, точение с ударом).

Вместе с тем, использование современных конструкций токарного инструмента, в том числе обладающих встроенным устройством демпфирования ударных нагрузок, является привлекательным не только для достижения высокой производительности, но и для гарантированного отсутствия прижогов обрабатываемой поверхности, а также ее шаржирования, что обычно свойственно операциям круглого наружного шлифования.

Поскольку главной тенденцией развития технологии лезвийной обработки является обеспечение работоспособности инструмента при высоких скоростях резания, характерных для современных станков и станочных систем, использование композитов в технологии лезвийной обработки отвечает требованиям разработчиков наукоемкой и конкурентной техники как в области качества, так и точности исполнения поверхностей различной конструктивной сложности. Кроме того, точение композитами обладает рядом существенных преимуществ, среди которых:

1) улучшенные характеристики качества обработанной поверхности, включая возможность придания микрорельефу регулярного характера, способного удерживать масляный слой для создания комфортных условий парам трения;

2) простота технологической наладки, в том числе:

- возможность применения стандартной конструкции проходного резца, оснащенной устройством демпфирования нагрузок прерывистого точения СМП, прототипированной аддитивной технологией под рациональные условия резания поверхности сложного профиля;

- возможность получения при помощи аддитивной технологии радиуса округления режущей кромки многогранной пластины не более 1,5 мкм, что в совокупности с высокими скоростями резания (5,0 м/с и выше) позволяет достигнуть шероховатости обработанной поверхности в диапазоне показателя Ra от 1,25 до 0,32 мкм и менее;

3) снижение производственных затрат, в том числе:

- основного времени, в сравнении с операцией круглого наружного шлифования;

- за счет меньшей стоимости основного оборудования и выполнения токарных работ менее квалифицированным станочником, в сравнении с трудоемкостью кругло-шлифовальных работ [1-4].

Результаты и их обсуждение

При выборе рациональной марки инструментального материала следует иметь в виду, что большинство деталей класса 71 – Тела вращения имеют на обрабатываемых поверхностях как отдельные, так и групповые вспомогательные элементы конструкции (разного рода пазы, шпонки, вспомогательные

отверстия и др.), различной формы и размеров, являющиеся источниками прерывистости точения базовой поверхности заготовки и вызывающими преждевременный износ и разрушение режущего элемента СМП. Поэтому важное

значение приобретает способность инструментального материала противостоять негативным факторам прерывистого точения, в том числе за счет необходимого запаса прочности и износостойкости (табл. 1).

Таблица 1

Требования к свойствам инструментальных материалов, рекомендуемых к применению в условиях прерывистого точения

Table 1

Requirements for the properties of tool materials recommended for use in intermittent cutting

Свойства инструментального материала / Tool material properties	Условное обозначение / Symbol	Содержание предъявляемых требований / Content of requirements
Прочность и ударная вязкость / Strength and toughness	ПУВ / ST	ИМ должен обладать достаточными значениями механической прочности при растяжении и изгибе и иметь высокое сопротивление разрушению при циклическом нагружении прерывистого точения / MI must have sufficient values of mechanical strength under tension and bending and have a high resistance to fracture under cyclic loading of intermittent turning
Твердость / Hardness	Т / H	Твердость ИМ должна быть более чем в 2,5 раза превосходить твердость ОМ / The hardness of IM should be more than 2.5 times greater than the hardness of OM
Теплостойкость / Heat resistance	ТС / HR	ИМ должен сохранять прочность и износостойкость при высоких температурах резания, быть малочувствительным к циклическим изменениям температуры прерывистого резания / MI should maintain durability and wear resistance at high cutting temperatures, be insensitive to cyclic changes in the temperature of intermittent cutting
Износостойкость / Wear resistance	И / WR	ИМ должен иметь высокую степень сопротивляемости к удалению с контактных поверхностей РЭ своих частиц, что обеспечивается комплексом механических свойств: $I=f(ПУВ, T, TC)$ / MI should have a high degree of resistance to the removal of its particles from the contact surfaces of the CE, which is ensured by the complex of mechanical properties: $WR=f(ST, H, HR)$

Окончание табл. 1 / End of table 1

Свойства инструментального материала / Tool material properties	Условное обозначение / Symbol	Содержание предъявляемых требований / Content of requirements
Сродство с ОМ / Affinity with OM	СОМ / АОМ	Кристаллохимические свойства ИМ и ОМ должны существенно отличаться / Crystal-chemical properties of MI and OM should be significantly different
Теплопроводность / Thermal conductivity	ТП / ТС	ИМ должен иметь хорошую способность для быстрого отвода теплоты из зоны резания / MI should have a good ability to quickly remove heat from the cutting zone
Технологичность / Manufacturability	ТЛ / М	ИМ должен исключить затруднения с подготовкой РЭ к заточке и обработке точением / MI should eliminate the difficulty of preparing the OM for grinding and turning
Дополнительные условные обозначения: ИМ – инструментальный материал; ОМ-обрабатываемый материал; РЭ-режущий элемент / Additional conventions: IM - instrumental material; OM-processed material; CE-cutting element		

Из большого количества известных марок инструментальных материалов, в большей мере соответствующих требованиям табл. 1, выделим несколько способных, в условиях серийного производства, обеспечить точением поверхностей сложного профиля точность не грубее 7-го квалитета при параметре шероховатости Ra не более 1,25 мкм:

– композит 01 (эльбор-Р) – синтетический поликристаллический материал на основе кубического нитрида бора. Он имеет однородную мелкозернистую кристаллическую структуру темно-серого цвета без видимых включений;

– композит 03 (исмит) – синтетический поликристаллический материал на основе кубического нитрида бора. Его мелкозернистая структура состоит из сросшихся кристаллов кубического нитрида бора;

– композит 10 (гексанит-Р) – синтетический поликристаллический материал на основе вюрцитоподобного нитрида бора. Имеет тонкозернистую однородную структуру темно-серого или черного цвета.

К отличительным особенностям композитов относится наивысшая, среди инструментальных материалов, твердость. Композиты характеризуются высокой износостойкостью, низким коэффициентом трения и, следовательно, малым износом, инструментальной стойкостью, теплопроводностью, коррозионной устойчивостью, надежностью, долговечностью и большим ресурсом. Особое достоинство композитов – химическая инертность по отношению к сталям и сплавам (табл. 2) [5-10].

Таблица 2

Физико-механические и химические характеристики инструментальных материалов

Table 2

Physicomechanical and chemical characteristics of tool materials

Условное обозначение марок композитов / Cutting tool material		Модуль упругости / Elasticity modulus	Предел прочности при изгибе / Ultimate bending strenght	Предел прочности при растяжении / Ultimate tensile strenght	Термостойкость / Heat stability	Коэффициент трещиностойкости / Cracking resistance factor
		Е, ГПа	σ_b , ГПа	σ_t , ГПа	Т, °С	K_{IC} , МПа·м ^{1/2}
K01	— — —	840	0,98	0,49	1470	4,17
K05	— — — —	700	0,50	0,22	1050	7,00
K10	— — — — —	880	1,50	0,39	1500	7,12
T15K6	— — — — —	500	1,10	0,36	900	8,00
ВОК-60	— — — — —	350	0,60		1200	3,10

Произвести выбор потенциально лучшей марки инструментального материала позволяет критическое сопоставление физико-механических и химических характеристик, а также удельных параметров деформационно-спектрального анализа из которого следует, что предпочтение следует отдать композиту 10 как объективно лучшей марке инструментального материала, предназначенного для чистового точения поверхностей сложного профиля (рис. 1).

На рис.1 и в табл. 2: K01, K05, K10, T15K6 и ВОК60 – условное обозначение марок инструментального материала композит 01, композит 05, композит 10, твердый сплав и режущая керамика, соответственно.

Альтернативный выбор рациональной марки инструментального материала СМП может быть осуществлен и расчетным методом, посредством коэффициента, характеризующего численное соотношение твердости инструментального материала с твердостью обрабатываемого материала:

$$K = \frac{HV_{им}}{HV_{ом}}, \quad (1)$$

где $HV_{им}$ – твердость инструментального материала; $HV_{ом}$ – твердость обрабатываемого материала.

Чем больше результат соотношения (1), тем выше ожидаемая эффективность от применения конкретной марки инструментального материала. Из нескольких материалов предпочтение имеет тот, для которого величина K окажется наибольшей.

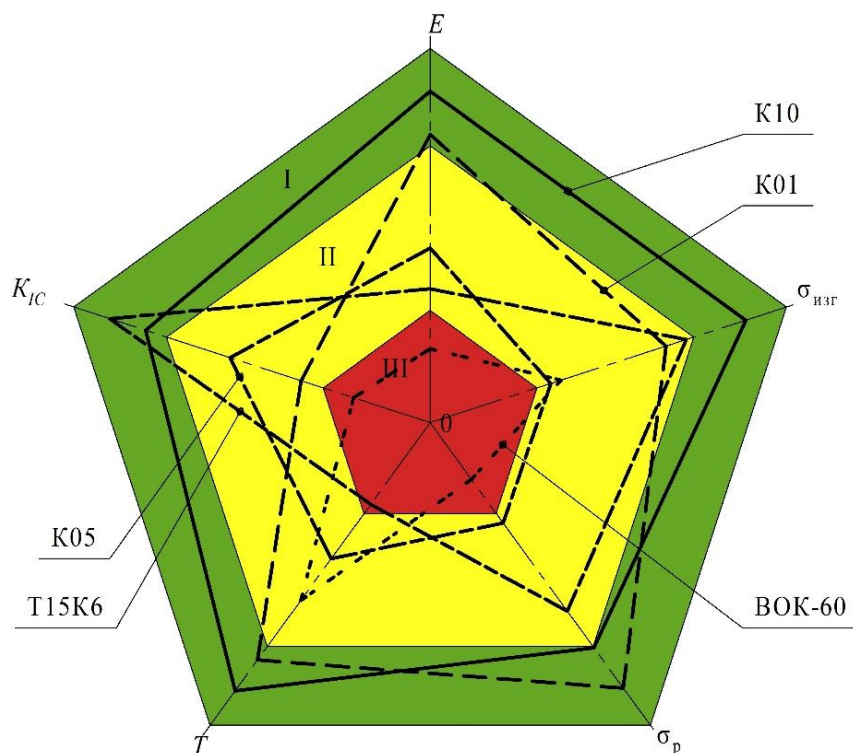


Рис. 1. Сопоставление характеристик инструментальных материалов

Fig. 1. Comparison of the characteristics of tool materials

Таким образом, назначая инструментальное обеспечение технологической операции точения поверхности сложного профиля, технолог может удостовериться, что выбранный способ обработки является высокопроизводительным, а инструментальный материал СМП способен обеспечить заданные чертежом правильную геометрическую форму детали с точным пространственным расположением поверхностей и шероховатостью [11-14].

Рекомендации в области работоспособности сменных режущих пластин в условиях точения поверхностей сложного профиля могут быть представлены следующими обобщениями:

– увеличение угла при вершине режущего элемента от 35 до 90 градусов

положительно влияет на повышение прочности режущей кромки (табл. 3). Однако одновременное нарастание вероятности появления вибраций, вследствие увеличения прерывистости резания, отрицательно сказывается не только на работоспособности инструмента, но и на качестве точения;

– разрушение режущей кромки (скалывание) можно отдалить выполнением особой фаски, увеличивающей стойкость режущего элемента (рис.2);

– больший радиус скругления и меньшие значения переднего и заднего углов способствуют благоприятному распределению сил прерывистого точения, сохраняя от выкрашивания потенциально хрупкую вершину режущего элемента;

– в информационной карте (табл. 4) представлены рекомендации по выбору режимов резания инструментами из композита 10 в зависимости от состоя-

ния конструктивной сложности поверхности точения из стали 45 и серого чугуна СЧ21 (табл.5).

Таблица 3

Влияние геометрических особенностей СМП на работоспособность проходного резца

Table 3

The influence of the geometric features of the changeable indexable insert on the performance of the straight turning tool


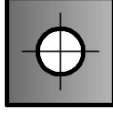


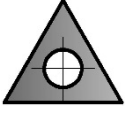
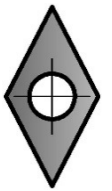

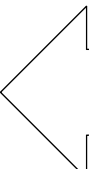
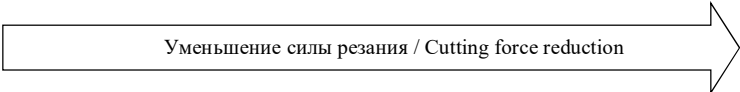
Угол, град / Angle, hail	–	90	80	80	60	55	35
Обозначение по ISO 1832:2017 / ISO designation 1832:2017	<i>R</i>	<i>S</i>	<i>C</i>	<i>W</i>	<i>T</i>	<i>D</i>	<i>V</i>
Форма / The form							
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Увеличение прочности и нарастание вибраций вследствие увеличения прерывистости точения / Increased strength and increased vibration due to increased intermittent cutting</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Уменьшение силы резания / Cutting force reduction</p> </div> </div>							



Рис.2. Влияние фаски на работоспособность инструмента

Fig.2. The effect of chamfer on tool performance

Таблица 4

Информационная карта. Рекомендации к выбору режимов резания

Table 4

Information card. Recommendations for the choice of cutting modes

Информационная карта. Точение поверхности сложного профиля / Information card. Turning the surface of a complex profile											
Поверхность точения / Turning surface	t, мм	Режимы резания / Cutting conditions									
		Сталь 45, V- м/мин / Steel 45, V- m / min					Серый чугун, V- м/мин / Gray cast iron, V- m / min				
гладкая / smooth	0,10	196	182	178	171	160	600	591	584	570	552
прерывистая / interrupted		180	174	170	165	158	560	546	540	525	490
гладкая / smooth	0,20	174	169	163	158	142	580	570	555	539	532
прерывистая / interrupted		168	160	156	151	139	525	501	497	482	466
гладкая / smooth	0,30	169	165	160	155	140	541	533	529	518	505
прерывистая / interrupted		158	153	149	136	121	488	465	451	438	420
гладкая / smooth	0,40	154	150	146	141	127	524	519	503	483	461
прерывистая / interrupted		140	135	130	120	108	460	436	420	414	407
гладкая / smooth	0,50	150	147	141	138	120	482	460	450	429	391
прерывистая / interrupted		135	131	128	117	103	444	428	400	382	340
S, мм/об		0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14

Таблица 5

Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости
от состояния прерывистости обрабатываемой поверхности

Table 5

Correction factors for cutting speed depending on the state of discontinuity
of machinable surface

Величина периода резания, % / Cutting period, %	94,7	89,4	84,1	78,8	73,5	68,2	62,9	57,6	52,3	47,0
Точение, период стойко- сти инструмента, мин / Turning, tool life, min	29,2	30,8	33,2	35,7	36,0	35,6	33,8	26,4	22,1	14,0
Поправочный коэффициент точения / Turning correction factor	1,50	1,30	1,20	1,10	1,00	1,10	1,15	1,40	1,60	2,40

Выводы

Разработаны рекомендации по выбору конструктивной формы и марки рационального инструментального материала для сменных режущих многогранных пластин, применяемых на операции чистового точения поверхностей сложного профиля деталей класса 71-Тела вращения. Представлены практические рекомендации по выбору геометрии режущих элементов сменных пластин, применяемых для проходных токарных резцов, и решения, направленные на совершенствование технологий производства изделий резанием.

Показано, что применение рациональной формы режущего элемента способно, в условиях прерывистого резания, обеспечить заданные показатели производительности, точности и качества обработки.

Технические материалы будут полезны для подготовки инженеров машиностроителей – технологов по разработке, в условиях как универсального, так и автоматизированного производств, технологических процессов механической обработки деталей различной конструктивной сложности.

Список литературы

1. Kudryashov E.A., Nikonov A.M., Stetsurin A.V. General Approach to the Optimization of Machining by Composite Tools // Russian Engineering Research. 2008. Vol. 28, no. 6. P. 611-613.

2. Kudryashov E.A., Stetsurin A.V. More Efficient Repair of Machine Parts by a Group Method // Russian Engineering Research. 2008. Vol. 28, no. 9. P. 924-925.
3. Kudryashov E.A., Nikonov A.M. Machining parts made from diverse materials by means of a composite tools // Russian Engineering Research. 2008. Vol. 29, no. 3. P. 313-315.
4. Kudryashov E.A., Nikonov A.M., Rogovskii V.S., Stetsurin A.V. Using superhard tools in discontinuous cutting // Russian Engineering Research. 2009. Vol. 29, no. 2. P. 210-213.
5. Кудряшов Е.А., Лунин Д.Ю., Павлов Е.В. Преимущества лезвийной технологии обработки деталей инструментом из композита // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2011. №5. С. 77-80.
6. Обеспечение точности отверстий при ремонте деталей машин / Е.А. Кудряшов, Е.В. Павлов, Е.И. Яцун [и др.] // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2010. №10. С. 37-38.
7. Carou D., Rubio E.M., Davim J.P. Discontinuous cutting: failure mechanisms, tool materials and temperature study a review // Reviews on Advanced Materials Science. 2014. Vol. 38, no. 2. P. 110-124.
8. Способы достижения надежности работы гидроцилиндров высокого давления буровых установок / Е.А. Кудряшов, Е.В. Павлов, Е.И. Яцун [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т.12. №1-2. С.401-403.
9. Stahl J.E. Metal cutting – Theories and models. Lund, Lund University, 2012. 580 p.
10. Zhao D. et al. The application of СИТ on the lunar rock drill // AEMT. 2015. P. 789-793.
11. Количественная оценка процессов в обработанном композитом поверхностном слое деталей машин / Е.А. Кудряшов, А.Ю. Алтухов, Д.Ю. Лунин [и др.] // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. Т. 6. №12 (72). С. 10-15.
12. Технологические преимущества инструментального материала композит при обработке конструктивно сложных поверхностей / Е.А. Кудряшов, А.Ю. Алтухов, Д.Ю. Лунин [и др.] // Известия ВолГТУ. 2010. №12. С. 15-20.
13. Кудряшов Е.А., Смирнов И.М. Эффективная работа инструмента из композита при скоростном фрезеровании резьбы // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2013. №2(59). С. 25-32.
14. Кудряшов Е.А., Алтухов А.Ю., Яцун Е.И. Эффективная работа инструмента из композита в условиях прерывистого резания // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2011. №6. С. 79.

References

1. Kudryashov E.A., Nikonov A.M., Stetsurin A.V. General Approach to Composite Tools. *Russian Engineering Research*, 2008, vol. 28, no. 6, pp. 611-613.
2. Kudryashov E.A., Stetsurin A.V. More Efficient Repair Method. *Russian Engineering Research*, 2008, vol. 28, no. 9, pp. 924-925.
3. Kudryashov E.A., Nikonov A.M. Machining parts made from diverse materials. *Russian Engineering Research*, 2008, vol. 29, no. 3, pp. 313-315.
4. Kudryashov E.A., Nikonov A.M., Rogovskii V.S., Stetsurin A.V. Using superhard tools in discontinuous cutting. *Russian Engineering Research*, 2009, vol. 29, no. 2, pp. 210-213.
5. Kudryashov E.A., Lunin D.Yu., Pavlov E.V. Preimushchestva lezviinoi tekhnologii obrabotki detalei instrumentom iz kompozita [Advantages of blade technology for machining parts with a composite tool]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii = Fundamental and applied problems of engineering and technology*, 2011, no.5, pp. 77-80 (In Russ.).
6. Kudryashov E.A., Pavlov E.V., Yatsun E.I. et al. Obespechenie tochnosti otverstii pri remonte detalei mashin [Ensuring the accuracy of STI holes in the repair of machine parts]. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya = Repair. Recovery. Modernization*, 2010, no.10, pp. 37-38 (In Russ.).
7. Carou D., Rubio E.M., Davim J.P. Discontinuous cutting: failure mechanisms, tool materials and temperature study a review. *Reviews on Advanced Materials Science*, 2014, vol. 38, no. 2, pp. 110-124.
8. Kudryashov E.A., Pavlov E.V., Yatsun E.I. et al. Sposoby dostizheniya nadezhnosti raboty gidrotsilindrov vysokogo davleniya burovnykh ustanovok [Ways of achieving reliability of operation of high-pressure hydraulic cylinders of drilling rigs]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk = Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2010, vol. 12, no.1-2, pp.401-403 (In Russ.).
9. Stahl J.E. Metal cutting - Theories and models. Lund, Lund University, 2012. 580 p.
10. Zhao D. et al. The application of SIT on the lunar rock drill. *AEMT*, 2015, pp. 789-793.
11. Kudryashov E.A., Altukhov A.Yu., Lunin D.Yu. et al. Kolichestvennaya otsenka protsessov v obrabotannom kompozitom poverkhnostnom sloe detalei mashin [Quantitative assessment of processes in the composite-treated surface layer of machine parts]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Volgograd State Technical University*. 2010, vol. 6, no. 12 (72), pp. 10-15 (In Russ.).
12. Kudryashov E.A., Altukhov A.Yu., Lunin D.Yu. et al. Tekhnologicheskie preimushchestva instrumental'nogo materiala kompozit pri obrabotke konstruktivno slozhnykh poverkhnostei [Technological advantages of the instrumental material composite when pro-

cessing constructively complex surfaces]. *Izvestiya VolGTU = Izvestia VolSTU*, 2010, no.12, pp. 15-20 (In Russ.).

13. Kudryashov E.A., Smirnov I.M. Effektivnaya rabota instrumenta iz kompozita pri skorostnom frezerovanii rez'by [Efficient operation of a composite tool for high-speed thread milling]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal processing (technology, equipment, tools)*, 2013, no. 2 (59), pp. 25-32 (In Russ.).

14. Kudryashov E.A., Altukhov A.Yu., Yatsun E.I. Effektivnaya rabota instrumenta iz kompozita v usloviyakh preryvistogo rezaniya [Effective operation of a composite tool under intermittent cutting conditions]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii = Fundamental and applied problems of engineering and technology*, 2011, no. 6, p. 79 (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the Authors

Кудряшов Евгений Алексеевич, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник сектора боеприпасов отдела БПССМР, АО «Научно-исследовательский инженерный институт», г. Балашиха, Московская обл., Российская Федерация, e-mail: kea-swsu@mail.ru

Evgeny A. Kudryashov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Leading Researcher of the Ammunition Sector of the BPSSMR Department, JSC Scientific Research Engineering Institute, Balashikha, Moscow Region, Russian Federation, e-mail: kea-swsu@mail.ru

Смирнов Игорь Михайлович, доктор технических наук, профессор, генеральный директор АО «Научно-исследовательский инженерный институт», г. Балашиха, Московская обл., Российская Федерация, e-mail: kea-swsu@mail.ru

Igor M. Smirnov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, General Director, JSC Scientific Research Engineering Institute, Balashikha, Moscow Region, Russian Federation, e-mail: kea-swsu@mail.ru

Гришин Дмитрий Вадимович, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Российская Федерация, e-mail: kea-swsu@mail.ru

Dmitry V. Grishin, Post-Graduate Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation e-mail: kea-swsu@mail.ru