

УДК 676:621.9.042
DOI: 10.12737/22062

С. А. Шептунов, В. А. Логвин

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РЕСУРСА ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Рассмотрены возможности и направления повышения производственного ресурса инструментов для автоматизированной технологической среды. Установлена взаимосвязь глубины упрочнения рабочих поверхностей инструментов и величины оптимального износа. Проанализировано влияние скорости обновления режу-

щей кромки с однократным её использованием на точность, качество обработанной поверхности и на повышение производственного ресурса инструмента.

Ключевые слова: ресурс, стойкость, скорость обновления режущей кромки, глубина упрочнённого слоя, плазма, тлеющий разряд, нанотехнологии.

S.A. Sheptunov, V.A. Logvin

INCREASE IN PRODUCTION RESOURCE OF TOOLS FOR AUTOMATED TECHNOLOGICAL ENVIRONMENT

The formation of wear areas on a tool changes power-, temperature and also accuracy quality characteristics of a treatment process. The distribution of allowance between technological transitions at the use of automated equipment brings the conditions of a cutting process closer to semifinish or finish ones that contributes to control effectively technological heredity. Work surface wear can be estimated through the time τ of a cutting process duration or through the length L of the way in the direction of cutting motion which allows predicting the increase in machining effectiveness based on a rational use of cutters properties. Breaking-in and steady wear at rotary cutting increase because of the increase of a cutting edge extension. The application of plasma nano-technologies in material treatment

in a glow discharge in controlled gaseous medium allows carrying out changes in the structure on the surface of tools reducing the period of tool breaking-in and increasing a steady wear period because of the boundary layer reduction and grinding a source material grain for a specified depth of 0.2...03 mm, that is, commensurable with an optimum bevel edge of tool wear. Tools with continuous single renewal of a cutting edge at optimum wear can realize large ways of cutting L or time τ of a cutting process to carry out a travel of any size.

Key words: resource, durability, updating rate of cutting edge, hardened layer depth, glow discharge, nano-technologies.

Введение

Повышение производительности обработки с одновременным улучшением эксплуатационных показателей деталей технических систем является основной задачей машиностроительного производства. В условиях автоматизированного производства повышение производительности осуществляется за счет концентрации и интенсификации операций механической обработки, а также сокращения вспомога-

тельного времени. Для сокращения оперативного времени необходимо повышать режущие возможности рабочих частей инструментов за счет использования новых инструментальных материалов, формирования на рабочих поверхностях инструментов структур, отличающихся повышенными эксплуатационными свойствами, а также за счет рационального использования этих свойств.

Условия формирования износа и параметры его оценки

Установлено, что по мере формирования площадок износа на рабочих поверхностях режущего клина инструмента меняются силовые, температурные, а также точностные и качественные характеристики процесса обработки и, соответствен-

но, эксплуатационные свойства деталей [1-6]. Распределение удаляемого припуска между технологическими переходами при использовании автоматизированного оборадования осуществляется с приближением условий процесса резания к получисто-

вым или чистовым, что помогает эффективно бороться с явлениями технологической наследственности за счет снижения напряженности процесса и многопроходности. В значительной мере на интенсивность изнашивания и износостойкость режущей части инструмента влияет сочетание физико-механических свойств обрабатываемого материала, материала режущего лезвия и способов упрочнения или нанесения покрытий, что и определяет условия трения.

При работе режущего клина установлены три периода с различной интенсивностью изнашивания. В период приработки изнашиваются поверхностные слои рабочих поверхностей режущего клина (наружная поверхность, контактирующая непосредственно с внешней средой (граничный слой)) и нижележащие слои деформированного или напряженно-структурированного материала, отличающиеся сильной нелинейностью по сравнению с основной частью, своим строением, механическими, физическими и химическими свойствами. Поверхностные слои обладают меньшими прочностными свойствами, чем нижележащие, и поверхность имеет, как правило, не оптимальную для складывающихся условий резания шероховатость. Атомы, расположенные на поверхности, имеют связи только с нижележащими атомами и находятся в неуравновешенном, неустойчивом состоянии. В результате этого граничный слой обладает запасом свободной потенциальной поверхностной энергии и поверхностным напряжением. Поверхностную энергию можно представить в виде суммы потенциальной и кинетической энергий. Потенциальной части энергии соответствует искажение нормального строения решетки, а кинетической – изменение режима колебаний атомов в граничном слое. С последним

связана и сильная зависимость поверхностного натяжения от температуры.

В период установившегося износа интенсивность изнашивания носит линейный характер, так как изнашиванию подвергаются нижележащие упорядоченные слои инструментального материала, имеющие относительно равномерную структуру.

В период катастрофического износа интенсивность изнашивания резко возрастает вследствие повышения температуры и структурных изменений уже в новых приграничных слоях, образованных в результате контакта с обрабатываемым материалом. Соответственно увеличивается работа сил трения на изношенных контактных поверхностях, имеющих, как правило, другую геометрию и шероховатость.

Износ рабочих поверхностей можно оценивать по времени τ (продолжительности) процесса резания или по длине L пути в направлении движения резания [1]. Данные критерии позволяют прогнозировать повышение производительности обработки, основываясь на рациональном использовании режущих свойств рабочих частей инструментов. Многопроходность (или многопереходность) операций механической обработки с небольшими градиентами силовых и тепловых полей позволяет осуществлять процесс резания по достижении оптимального износа в течение большего периода времени τ или пройти большую длину пути L .

Установлено [1-6], что для условий получистовой и чистовой обработки оптимальной считается величина фаски износа на задней поверхности в пределах 0,2...0,3 мм. Повышение от 0,2 до 0,3 мм приводит к повышению составляющих силы резания в среднем на 20...30%, а температуры в зоне резания - на 50...60%.

Направления повышения производственного ресурса инструмента для автоматизированной технологической среды

Решение поставленных задач можно осуществлять на основе использования технологий, обеспечивающих формирование на рабочих поверхностях инструментов изготавливаемых из традиционных ин-

струментальных материалов, структур, отличающихся повышенными физико-механическими свойствами. К данным технологиям можно отнести плазменные нанотехнологии обработки рабочих по-

верхностей инструментов в тлеющем разряде в контролируемых газовых средах [7-9]. Повышение интенсификации процесса резания эффективно обеспечивается и при ротационной обработке, основанной на частичной замене трения скольжения на трение качения. Переход от обычного резания к ротационному связан с коренным изменением характера взаимодействия рабочих поверхностей инструмента с обрабатываемым материалом, заключающимся в непрерывном обновлении в процессе резания контактных поверхностей как заготовки, так и инструмента; непрерывном обновлении в процессе резания активного участка режущего лезвия одновременно для всех рабочих поверхностей инструмента; снижении скорости относительного скольжения в контактных зонах [2-6]. При этом период приработки и период установившегося износа значительно увеличиваются вследствие увеличения протяженности режущей кромки.

Использование плазменных нанотехнологий обработки материалов в тлеющем

разряде в контролируемых газовых средах, например, в аргоне позволяет осуществлять изменение структуры на поверхности инструментов. Так, в образцах из быстрорежущей стали Р12 установлено изменение микротвёрдости на глубину до 0,6...0,8 мм (рис. 1, 2), но для инструментов, используемых на автоматизированном оборудовании и не только, можно ограничиться глубиной 0,2...0,3 мм, что при высокой энергоэффективности данного процесса позволяет значительно сократить время обработки и повысить его производительность. При этом период приработки инструментов сокращается, а период установившегося износа возрастает вследствие уменьшения граничного слоя и измельчения зерна исходного материала на заданную глубину (рис. 2). Как видно из рис. 3 а, до линии 1 на глубину местами более 400 мкм происходит измельчение зерна. Для лучшего сравнения на рис. 3, б показан этот же участок с меньшим увеличением.

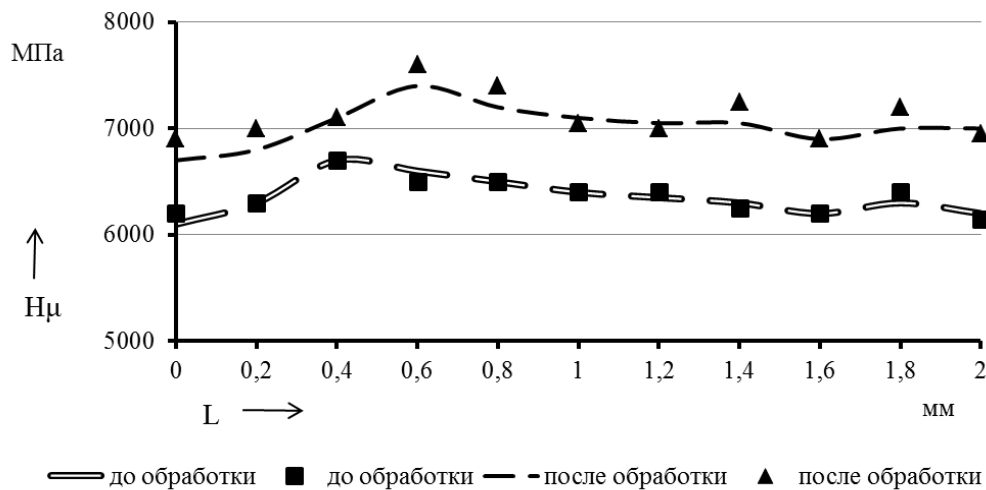


Рис. 1. Распределение микротвёрдости по глубине при обработке без ограничения объема межэлектродной области при помощи пирамиды

Установлено, что при обработке в тлеющем разряде ограничение объема межэлектродной области при помощи пирамиды из диэлектрического материала позволяет получить увеличение микротвёрдости на поверхности, а также относительный прирост максимальной микротвёрдости на глубине около 0,6 мм более чем на

7% по сравнению с обработкой без ограничения рабочего объема камеры (рис. 1, 2). Наиболее вероятной причиной относительного прироста микротвёрдости является увеличение концентрации ионов, участвующих в процессе обработки, и, соответственно, плотности тока в катодной цепи.

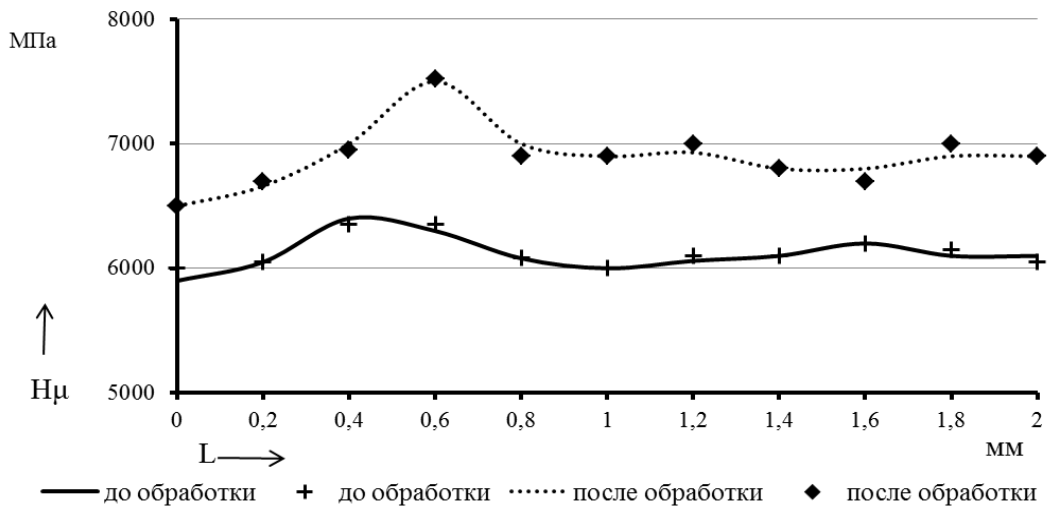


Рис. 2. Распределение микротвердости по глубине при обработке при ограничении объема межэлектродной области при помощи пирамиды

В результате исследований в производственных условиях износостойкости инструментов, обработанных по данной технологии установлено повышение их производственного ресурса до двух раз.

Таким образом, возможности технологий, направленных на изменение физико-механических свойств поверхностных слоев инструментальных материалов или на формирование на поверхности износостойких и антифрикционных структур, можно ограничивать глубиной в диапазоне 0,2...0,3 мм, т.е. глубиной, соизмеримой с оптимальной фаской износа инструмента.

Стабильность или незначительные изменения первоначально заданных геометрических параметров рабочих поверхностей режущих элементов в процессе обработки обеспечиваются обновлением режущей кромки. Обновление режущей кромки может быть прерывистым и непрерывным, а также полным или частичным. Прерывистое обновление может быть полным и частичным, а непрерывное - только частичным. Полное обновление режущей кромки происходит периодически, при этом участок режущей кромки, находящийся во взаимодействии с обрабатываемой заготовкой, полностью обновляется, заменяется на участок, не участвующий до этого в работе. При частичном обновле-

нии, прерывистом или непрерывном, обновление режущей кромки происходит в основном на участке в области вершины режущего элемента, отвечающего за формирование окончательной точности и качества рабочей поверхности детали. Прерывистое частичное обновление целесообразнее осуществлять не во время обработки, так как перепад размеров на участке, на котором произойдет обновление, может выйти за пределы поля допуска на обрабатываемый размер. Непрерывное частичное обновление осуществляется равномерно или по определенному закону, зависящему от скорости формирования износа или интенсивности изнашивания на рабочих поверхностях режущего клина. При этом следует отметить, что прерывистое частичное обновление предполагает более простую конструкцию механизмов для осуществления и применяется при обработке коротких или протяженных заготовок с большим полем допуска на обрабатываемый размер, а также невысокими требованиями к шероховатости обработанной поверхности. Непрерывное частичное обновление применяется при обработке как коротких, так и протяженных заготовок с высокими требованиями к точности и качеству обработанной поверхности, предполагает наличие в конструкции инструмента отдельного привода и позволяет

рационально использовать возможности инструментального материала в полном

объёме в пределах угла контакта режущей кромки с заготовкой [10].

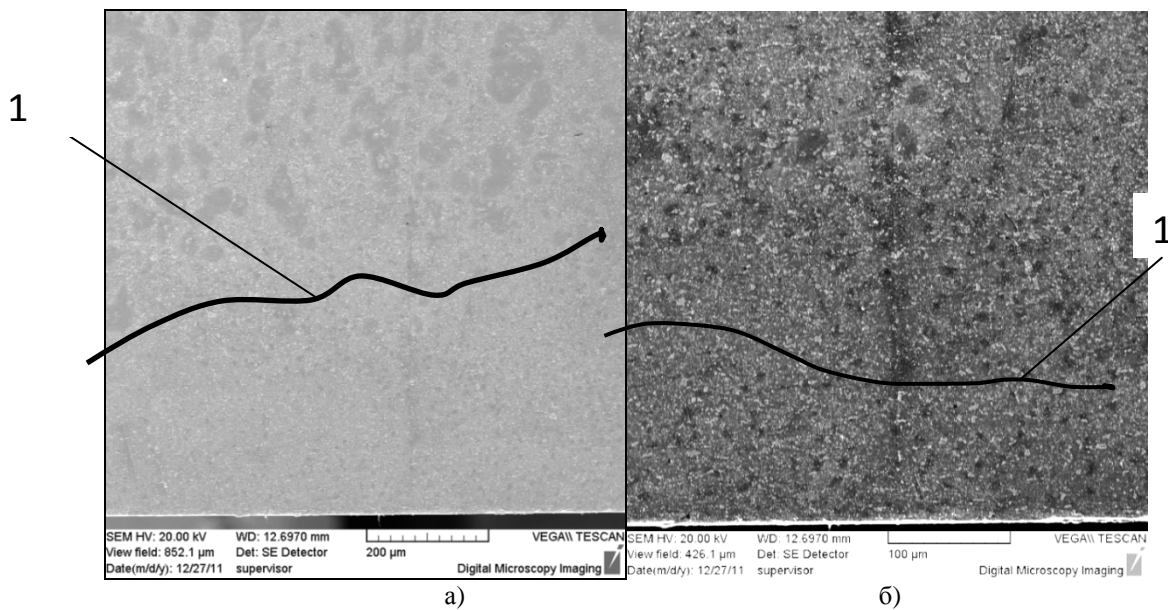


Рис. 3. Изменение микроструктуры по глубине образца из стали P12 после обработки в тлеющем разряде

Анализ возможностей реализации взаимодействия инструмента и заготовки при ротационном резании предполагает соответствующее конструктивное оформление инструмента и внесение изменений в кинематику процесса резания: лезвию инструмента в процессе резания сообщается непрерывное дополнительное перемещение в касательном по отношению к нему направлении со скоростью, принудительно задаваемой от специального привода; реализация качения при относительном перемещении двух тел, независимо от продолжительности их взаимодействия, предполагает выполнение режущего элемента в виде тела вращения, поскольку форма обработанной поверхности может быть различной, а режущее лезвие должно иметь форму плоской или пространственной линии, чаще окружности, при этом дополнительное перемещение сводится к повороту режущей части вокруг своей геометрической оси; вращение режущего элемента вызывает необходимость введения в конструкцию инструмента внутренней кинематической связи. При этом ротационное резание отличается большими скоростями перемещения режущей кромки, соизмеримыми со скоростью резания при обработке, что приводит к термоусталостному

разрушению режущей части. Уменьшить перепад температур на режущей кромке при выходе и входе в зону обработки можно за счет установления оптимальной скорости перемещения режущей кромки, обеспечивающей ее подогрев при подходе к зоне обработки, что исключит термоусталостное разрушение режущей кромки. В этом случае скорость перемещения режущей кромки к зоне обработки должна быть меньше или равна скорости распространения тепла от зоны резания в результате теплопроводности [5; 10; 11].

Наличие дополнительного источника движения для осуществления поворота режущего элемента приводит к усложнению конструкции инструмента, но и обеспечивает определённые преимущества: способность устойчивой работы с малыми или равными нулю углами скрещивания оси режущей части с вектором главного движения; задание рационального направления и скорости перемещения режущей кромки; преимущества косоугольного резания. Все это позволяет осуществить качественный переход от традиционного ротационного резания к обработке инструментами с непрерывным однократным обновлением режущей кромки [10].

Чашечные инструменты с непрерывным обновлением режущей кромки можно применять при обработке как коротких, так и протяженных заготовок с высокими требованиями к точности и качеству обработанной поверхности. При обработке протяженных заготовок длина режущей кромки L_p , необходимая для обработки всего участка, должна быть больше не менее чем на величину периметра угла контакта ψ режущего элемента с заготовкой при условии, что скорость формирования износа на рабочих поверхностях режущего элемента (интенсивность изнашивания) равна скорости непрерывного обновления режущей кромки V_p (м/с).

$$L_p = \frac{V_p \cdot l \cdot 60000}{S \cdot n} + \frac{\pi \cdot d \cdot \psi}{360},$$

где S – подача, мм/об; n – частота вращения заготовки, мин⁻¹; l – длина участка обработки, м;

d – диаметр режущей кромки, м; ψ – угол контакта режущей кромки с заготовкой, град.

У данных инструментов форма режущей кромки может быть любой, что и определяет выбор конструктивного исполнения привода, обеспечивающего обновление. Наиболее оптимальной формой режущей кромки при конструировании привода обновления является окружность. Следует отметить основные преимущества использования инструментов с непрерывным однократным обновлением режущей кромки для обработки резанием: рациональное ис-

пользование режущих свойств рабочих поверхностей режущего клина; износ в точке режущей кромки, отвечающей за формообразование поверхности, легко поддается управлению при обработке и не меняется в течение рабочего хода, что позволяет сохранять параметры настройки технологической системы и стабилизировать точность обработки при меняющихся условиях резания; минимальная величина фаски износа в области вершины режущей кромки обеспечивает стабильность шероховатости обработанной поверхности в пределах всего периода стойкости режущего элемента; стабильность и неизменность геометрических параметров режущего лезвия в течение всего периода стойкости гарантирует неизменность составляющих силы резания, что повышает виброустойчивость технологической системы; увеличение фаски износа и радиуса перехода между передней и задней поверхностями режущего элемента от вершины к выходу из участка контакта режущей кромки с необработанной поверхностью заготовки позволяет более нагружать приповерхностные слои заготовки, а не детали; обеспечение равномерного нагрева и охлаждения при прохождении участком режущей кромки зоны резания исключает температурные напряжения, неблагоприятные для твёрдосплавных инструментальных материалов, и, соответственно, термоусталостное разрушение; данные инструменты могут реализовывать сколь угодно большие пути резания L или время τ процесса резания в зависимости от времени для выполнения рабочего хода [5; 10].

Заключение

В зависимости от величины пути резания L или времени τ (продолжительности) процесса резания, реализуемых в пределах рабочего хода и требований к точности и качеству обработки, для повышения производственного ресурса инструментов в условиях автоматизированной технологической среды можно использовать в равной степени как плазменные нанотехнологии обработки материалов в тлеющем разряде в контролируемых газовых средах,

так и непрерывное однократное обновление режущей кромки. При этом для обработки заготовок высокоточных деталей и реализации большого пути резания L целесообразнее объединять возможности нанотехнологий и рационального использования режущих свойств инструментальных материалов, ограничивая глубину поверхностного слоя с изменённой структурой величиной оптимального износа 0,2-0,3 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грановский, Г.И. Резание металлов: учеб. для машиностр. и приборостр. спец. вузов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.
 2. Ящерицын, П.И. Основы резания материалов и режущий инструмент / П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, Н.И. Жигалко. – 2-е изд. – Минск: Выш. шк., 1981. – 560 с.
 3. Ящерицын, П.И. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах / П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, Е.Э. Фельдштейн. – Минск: Выш. шк., 1990. – 512 с.
 4. Коновалов, Е.Г. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов / Е.Г. Коновалов, В.А. Сидоренко, А.В. Соусь. – Минск, 1972. – 270 с.
 5. Шатуров, Г.Ф. Прогрессивные процессы механической обработки поверхностей / Г.Ф. Шатуров, Ж.А. Мрочек. – Минск: Технопринт, 2001. – 460 с.
 6. Ящерицын, П.И. Ротационное резание материалов / П.И. Ящерицын [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1987. – 229 с.
 7. Пат. № 16595 Респ. Беларусь, МПК C23C 14/36, C23C 14/48, C23C 8/00. Способ обработки изделия в вакууме / В.А. Логвин, Е.В. Логвина; заявитель Беларус.-Рос. ун-т (ВУ). – № а 20101408; заявл. 29.09.10; опубл. 30.04.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 5. – С. 121.
 8. Пат. 6538 Респ. Беларусь, МПК В 26D 1/00 C21D 1/78. Рабочая часть инструмента из инструментальных материалов / А.А. Жолобов, В.А. Логвин, Е.В. Логвина; заявитель Беларус.-Рос. ун-т (ВУ). – № u 20090954; заявл. 16.11.09; опубл. 03.06.10 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 4. – С. 185.
 9. Пат. 7492 Респ. Беларусь, МПК В 26D 1/00, C 21D 1/78. Режущая часть инструмента / В.А. Логвин, А.А. Жолобов, Е.В. Логвина; заявитель Беларус.-Рос. ун-т (ВУ). – № u 20101056; заявл. 21.12.10; опубл. 30.08.11 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 4. – С. 179.
 10. Логвин, В.А. Формообразование поверхностей валов суперкаландров: монография / В.А. Логвин [и др.]. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2012. – 191 с.
 11. Анисович, Г.А. Затвердевание отливок / Г.А. Анисович. – Минск: Наука и техника, 1979. – 232 с.
1. Granovsky, G.I. *Metal Cutting*: textbook for special colleges of mechanical engineering and instrument-making / G.I. Granovsky, V.G. Granovsky. – M.: Higher School, 1985. – pp. 304.
 2. Yashcheritsyn, P.I. *Fundamentals of Material Cutting and Cutters* / P.I. Yashcheritsyn, M.L. Yeryomenko, N.I. Zhigalko. – 2-d Edition – Minsk: Higher School, 1981. – pp. 560.
 3. Yashcheritsyn, P.I. *Theory of Cutting. Physical and Thermal Processes in Technological Systems* / P.I. Yashcheritsyn, M.L. Yeryomenko, E.E. Feldstein. – Minsk: Higher School, 1990. – pp. 512.
 4. Konovalov, E.G. *Progressive Procedures in Rotary Metal Cutting* / E.G. Konovalov, V.A. Sidorenko, A.V. Sous. – Minsk, 1972. – pp. 270.
 5. Shaturov, G.F. *Progressive Processes in Surface Machining* / G.F. Shaturov, Zh.A. Mrochek. – Minsk: Technoprint, 2001. – pp. 460.
 6. Yashcheritsyn, P.I. *Material Rotary Cutting* / P.I. Yashcheritsyn [et al.]. – Minsk: Science & Technics, 1987. – pp. 229.
 7. Pat. № 16595 the Rep. of Belarus, IPC C23C 14/36, C23C 14/48, C23C 8/00. Method of product treatment in vacuum / V.A. Logvin, E.V. Logvina; applicant Belorus.-Russ. Uni. (BY). – № a 20101408; applic. 29.09.10; publ. 30.04.12 // Official Bull. / National Center of Intellectual Property – 2012. – № 5. – pp. 121.
 8. Pat. 6538 the Rep. of Belarus, IPC B 26D 1/00 C21D 1/78. Working edge of tool made of tool materials / A.A. Zholobov, V.A. Logvin, E.V. Logvina; applicant Belarus.-Russian Uni. (BY). – № u 20090954; applic. 16.11.09; publish. 03.06.10 // Official Bull. / National Center of Intellectual Property – 2010. – № 4. – pp. 185.
 9. Pat. 7492 the Rep. of Belarus, IPC B 26D 1/00, C 21D 1/78. Tool Cutting Edge / V.A. Logvin, A.A. Zholobov, E.V. Logvina; applicant Belarus.-Russian Uni. (BY). – № u 20101056; applic. 21.12.10; publish. 30.08.11 // Official Bull. / National Center of Intellectual Property. – 2011. – № 4. – pp. 179.
 10. Logvin, V.A. *Shaft Surface Shaping for Supercalanders*: monograph / V.A. Logvin [et al.]. – Mogilyov: Belarus-Russian Uni., 2012. – pp. 191.
 11. Anisovich, G.A. *Casts Solidification* / G.A. Anisovich – Minsk: Science & Engineering, 1979. – pp. 232.

Статья поступила в редколлегию 11.07.2016.

Рецензент: д.т.н., профессор
Куликов М.Ю.

Сведения об авторах:

Шептунов Сергей Александрович, д.т.н., профессор, директор Института конструкторско-технологической информатики Российской академии наук, e-mail: ship@ikti.org.ru.

Логвин Владимир Александрович, к.т.н., доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты», Государственного учреждения высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет», e-mail: logvinvladim@yandex.ru.

Sheptunov Sergey Alexandrovich, D.Eng., Prof., Director of the Institute of Design-Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences, e-mail: ship@ikti.org.ru.

Logvin Vladimir Alexandrovich, Can.Eng., Assistant Prof. of the Dep. "Machine-tools & Tools", State Institution of Higher Vocational Education "Belarussian-Russian University", e-mail: logvinvladim@yandex.ru.