

Инновационные решения инструментального обеспечения металлообрабатывающих и робототехнических комплексов в машиностроении



В. А. Гречишников,
д. т. н., профессор, зав. кафедрой
инструментальной техники
и технологии формообразования
itff.stankin@gmail.com



П. М. Пивкин,
преподаватель, аспирант кафедры
инструментальной техники
и технологии формообразования
PMPivkin@gmail.com



В. В. Исаев,
к. т. н., доцент кафедры
инструментальной техники
и технологии формообразования
avisz@yandex.ru



Ю. В. Илюхин,
д. т. н., доцент, профессор
кафедры робототехники
и мехатроники
llyv_178@mail.ru



А. А. Воротников,
аспирант кафедры
робототехники и мехатроники
aavorolnikov90@gmail.com



В. Б. Романов,
к. т. н., доцент кафедры
инструментальной техники
и технологии формообразования
itff.stankin@gmail.com

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

В статье рассматриваются перспективные технологии металлообработки и способы повышения показателей технологического процесса.

Ключевые слова: металлообработка, режущий инструмент, фреза, резец.

Развитие современного машиностроения сопровождается расширением номенклатуры изготавливаемых изделий, что в значительной мере усложняет задачи инструментального обеспечения. Существенный рост производительности за счет совершенствования технологических процессов требует повышения эксплуатационных показателей инструментальных систем [1-5].

Специфика проектирования режущего инструмента определяется формой обрабатываемых поверхностей изделия, материалом инструмента и детали, а так же условиями эксплуатации инструмента [6]. Данные факторы показывают, что усовершенствование расположения режущих кромок на исходной инструментальной поверхности и определение расположения

рабочих поверхностей инструмента являются наиболее важными инструментальными задачами [7].

Решение данных задач в комплексе с ужесточением требований к технологическому процессу также вызывает усовершенствование конструкций металлорежущих станков. Новые конструкции станков должны обеспечивать наиболее эффективную обработку изделий из новых перспективных материалов и конкурентоспособность продукции в условиях рынка и развития областей народного хозяйства [8]. Сокращение времени обработки изделия обеспечивается за счет увеличения частоты вращения шпинделя (до 50000 об/мин) и скорости движения подачи.

Повышение эффективности и производительности лезвийной механообработки возможно при сочетании

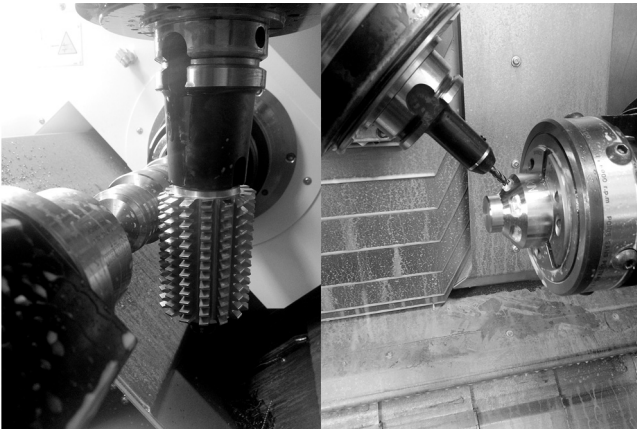


Рис. 1. Токарно-фрезерный центр DMG CTX beta 1250 TC 4A

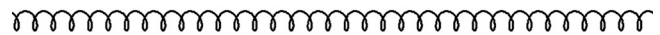
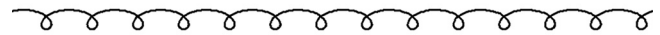
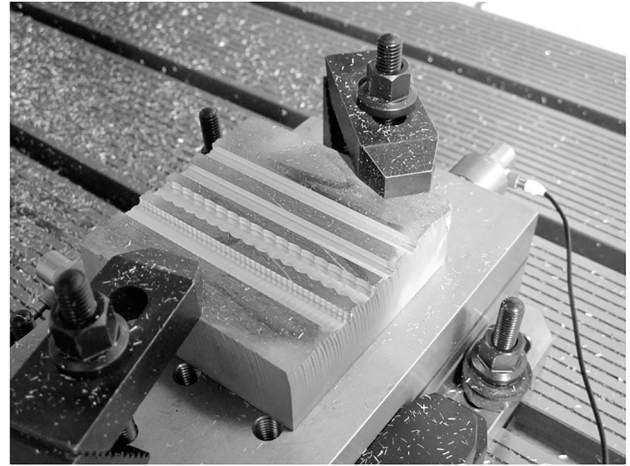


Рис. 2. Пример обработанных поверхностей посредством различных траекторий движения инструмента

большой глубины резания и небольшой величины подачи и скорости резания, при обработке с небольшой глубиной резания и при высоких подачах и скоростях резания [9]. Обработка на больших скоростях резания и подач при небольшой глубине резания требует создания оптимальных траекторий движения режущего инструмента. Повышение производительности также достигается за счет концентрации операций в рамках одного металлообрабатывающего оборудования: для корпусных деталей — обработка на одном станке заготовки с пяти сторон; для тел вращения — полная обработка сложной профильной заготовки, включая токарные, фрезерные, сверлильные и другие операции (рис. 1) [10-14].

Применение новых современных инструментальных материалов совместно с оптимизацией рабочих движений при механообработке является основным направлением совершенствования в области машиностроения [15].

На рис. 2 показан пример обработки пазов посредством различных траекторий движения инструмента: прямолинейная траектория движения инструмента, траектория движения в виде трохоиды с мелким шагом, траектория движения в виде трохоиды с крупным шагом и графики усилий резания для каждой траектории движения (рис. 3).

В машиностроении всегда было и остается востребованным направлением обработка зубчатых колес. Одним из наиболее распространенных режущих инструментов для обработки зубчатых колес являются зуборезные долбки. Приведем конструкции станка по патенту RUS № 2246381, разработанному в «МГТУ

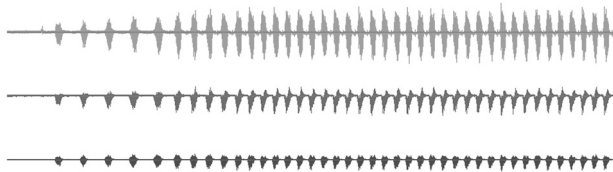


Рис. 3. Силы резания при различных видах траекторий движения инструмента: прямолинейная траектория движения инструмента, траектория движения в виде трохоиды с мелким шагом, траектория движения в виде трохоиды с крупным шагом

СТАНКИН». Данная конструкция существенно повышает его универсальность: исключается необходимость использования большого количества сменных барабанов; наличие одного барабана существенно уменьшает время настройки станка; возможно использование станка для широкой номенклатуры изделий [16-18]. Трудоемкость шлифования при формировании заданной поверхности долбяков составляет 60-70% общей трудоемкости изготовления инструмента. Качество и точность шлифования предопределяет класс точности долбяка. Механизм обката выполнить в виде рычажной системы и одного несменного обкатного барабана или эвольвентного кулака, при этом ось барабана (кулака) и изделия остается неподвижной, а прямолинейное перемещение осуществляет шлифовальная бабка с кругом (рис. 4).

На рис. 4 показана схема механизма обката зубошлифовального станка с обкатным барабаном. Механизм обката работает следующим образом.

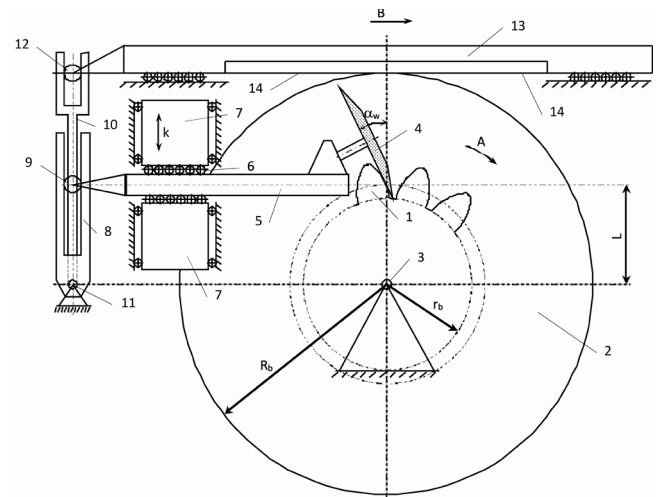


Рис. 4. Схема работы станка

Шлифуемое изделие 1 (долбяк с радиусом основной окружности r_b), установленное на оправке, и обкатной барабан 2 радиуса R_b , располагаются на одной неподвижной оси 3. Шлифовальная бабка с кругом 4, представляющим собой боковую поверхность зубчатой рейки с углом профиля α_w , установлена на нижней каретке 5, имеющей возможность прямолинейно перемещаться по роликовым направляющим 6, расположенным в поперечной каретке 7. Вертикальное перемещение поперечной каретки 7 по стрелке k позволяет изменять расстояние L оси нижней каретки 5 относительно неподвижного центра изделия 1 и барабана 2. Размер L равен радиусу r_w начальной окружности изделия [19].

На общей оси 11 установлены два рычага – длинный 10 и короткий 8. Длинный рычаг 10 через ролик 12 связан с верхней кареткой 13, на которой закреплены концы тонких стальных лент 14. Другие концы лент закреплены на обкатном барабане 2. Каретка 13 имеет возможность перемещаться по направляющим станины. Короткий рычаг 8 связан через ролик 9 с нижней кареткой 5. Кинематика станка с помощью кривошипно-шатунного механизма, применяемого на обычных зубошлифовальных станках, обеспечивает периодическое прямое и обратное вращение вала 3, а, следовательно, и соосно закрепленных изделия 1 и обкатного барабана 2.

Кинематика станка с помощью кривошипно-шатунного механизма, применяемого на обычных зубошлифовальных станках, обеспечивает периодическое прямое и обратное вращение вала 3, а, следовательно, и соосно закрепленных изделия 1 и обкатного барабана 2 (рис. 5).

Для настройки станка необходимо определить взаимосвязь настроечного размера L и угла профиля шлифовального круга α_w , который обеспечивается разворотом оси круга на шлифовальной бабке [20-22].

При повороте долбяка 1, а, следовательно, и барабана 2 (по стрелке А, рис. 1), на угол ψ ленты 14, наворачиваясь на барабан 2, переместят верхнюю каретку 13 (по стрелке В) на величину $R_b \psi$ (рис. 2). Перемещение каретки 13 через ролик 12 приведет к повороту рычагов 8 и 10 на некоторый угол φ , который определяется как:

$$\operatorname{tg} \varphi = (R_b \psi) / R_b = \psi. \quad (1)$$

Тогда короткий рычаг 8 через ролик 9 переместит вправо нижнюю каретку 5 с кругом 4. Перемещение каретки 5 с одновременным вращением долбяка должно правильно реализовать зацепление круга со шлифуемым изделием. При заданном L перемещение каретки 5 составляет:

$$l = L \operatorname{tg} \varphi,$$

что равносильно перемещению рейки (круга) на это же расстояние. Расстояние между контактными точками в начальном (k_1) и последующем (k_2) положениях, измеренное по нормали, т. е. по линии зацепления I-I составляет:

$$l_n = l \cos \alpha_w = L \operatorname{tg} \varphi \cos \alpha_w.$$

При этом эвольвента шлифуемого изделия повернется на угол ψ а дуга c_1c_2 будет равна отрезку l_n . Тогда можно записать:

$$\psi = (L \operatorname{tg} \varphi \cos \alpha_w) / r_b.$$

Учитывая (1), имеем:

$$r_b = L \cos \alpha_w. \quad (2)$$

Эта формула выражает взаимосвязь двух параметров настройки: L и α_w . Задавая угол разворота круга α_w можно определить другой настроечный размер L :

$$L = r_b / \cos \alpha_w. \quad (3)$$

В результате данная конструкция станка позволяет существенно расширить диапазон обрабатываемых инструментов, а также обеспечить наиболее оптимальные движения формообразования при получении изделия.

Одним из наиболее инновационных направлений в лезвийной механообработке является применение роботизированных комплексов для обеспечения

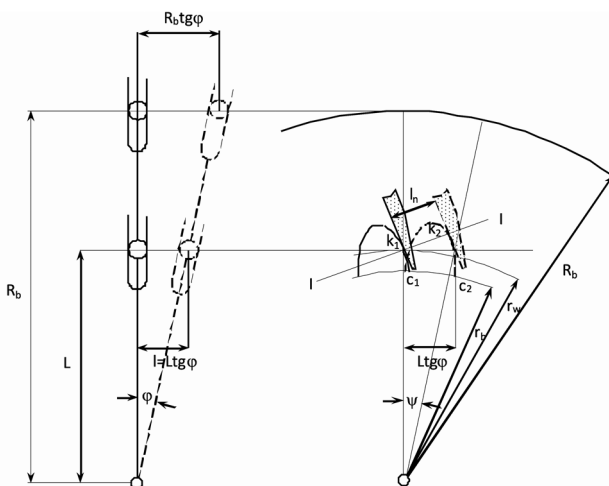


Рис. 5. Определение параметров настройки станка



Рис. 6. Технологическая система роботизированной механообработки



Рис. 7. Робот-манипулятор для механообработки

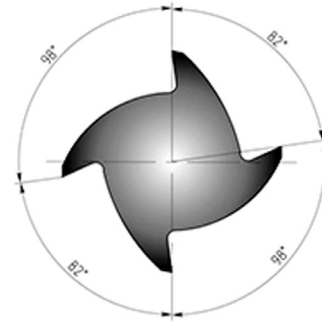


Рис. 8. Переменный шаг зубьев

формообразующих движений. Робототехнические комплексы механообработки (РТКМ) предназначены для выполнения широкого круга основных технологических операций, сопровождающихся силовой реакцией на рабочий орган робота – фрезерование, сверление, шлифование, полирование, зачистки заусенцев. РТКМ представляет собой технологическую систему, состоящую из промышленного робота, технологической оснастки (рис. 6, 7), режущего инструмента и обрабатываемой заготовки. РТКМ имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционно применяемыми для тех же операций многокоординатными обрабатывающими центрами с ЧПУ. Они обладают технологической гибкостью, возможностью обработки крупногабаритных изделий со сложной формой поверхности, просты в перенастройке, более дешевы.

Улучшить показатели работы высокопроизводительного технологического процесса возможно за счет применения усовершенствованных конструкций режущего инструмента. Для обеспечения эффективности процессов механообработки требуется применение современных конструкций инструмента [23-27]. Высокоскоростная обработка выполняется режущим инструментом с повышенным сопротивлением к вибрациям, что позволяет повысить показатели стабильности работы. Фрезы для высокоскоростного фрезерования имеют специальные конструкции [28].

Одним из эффективных способов борьбы с вибрациями является переменный шаг зубьев (рис. 8). Данная конструкция позволяет устранить резонансные колебания при резании. Для сборного инструмента для обработки плоских поверхностей актуально применение инструмента с минимальным главным углом в плане (рис. 9). Это обусловлено меньшей степенью изгиба инструментального блока в результате направления силы резания на опорные поверхности режущей пластин в направлении базовых поверхностей, которые закрепляют блок в шпинделе станка [29].

Конструкция с небольшим углом в плане также может применяться для черновой обработки поверх-



Рис. 9. Направление нагрузки сборных фрез при различных значениях главного угла в плане

ностей сложной формы на деталях с последующей чистовой обработкой сферической фрезой [30]. При выполнении всех технологических операций на одном станке за один установ актуально использование комбинированных инструментов и инструментальных наладок (рис. 8), что значительно сокращает длительность обработки.

Высокопроизводительное точение также ориентировано на применения технологий с повышенными скоростями резания. Такая технология применяется в случае получения поверхности определенным участком режущей кромки по методу следа (рис. 9). Конструкция данного резца позволяет создавать усилие при резании, способствующее закреплению режущей вставки.

При обработке труднодоступных поверхностей целесообразно применение инструмента, имеющего контакт всей главной режущей кромки при резании. В результате происходит несвободное резание, усложняющее процесс обработки. Примером таких поверхностей могут служить торцевые выточки, канавки и проточки.

Для обработки данных поверхностей специализированный режущий инструмент дуговой формы (рис. 10). Дуговая форма позволяет повысить стабильность работы инструмента и повысить его стойкость (рис. 11).

Форма дуговых поверхностей с двойной кривизной определяется соотношением:

$$Y = - \frac{\Delta Z \sin(2\chi) + 2Lf \sin \chi - 2^{1/2} k Y_1}{\cos(2\chi) + k^2 + k^2 \cos(2\chi) - 1}; \quad (4)$$

где

$$Y_1 = \cos \chi (2Lf^2 + x^2 + \Delta Z^2 - X^2 \cos(2\chi) - X^2 k^2 + \Delta Z^2 \cos(2\chi) + 4Lf \Delta Z \cos \chi - X^2 k^2 \cos(2\chi))^{1/2}.$$

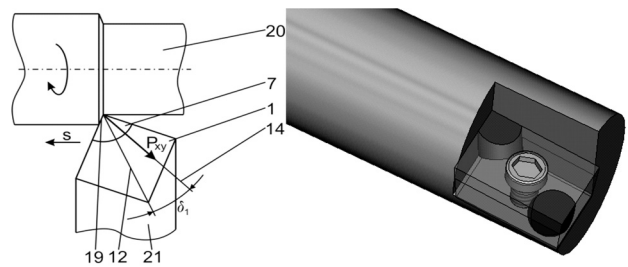


Рис. 10. Токарный инструмент с повышенной надежностью крепления

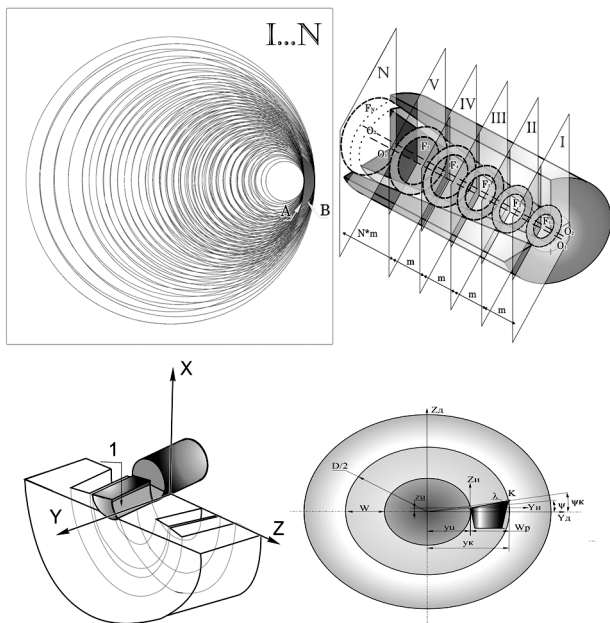


Рис. 11 Цельный резец для торцевых выточек

В результате вспомогательные поверхности, описанные функцией (4) позволяют получить торцевые выточки в расширенном диапазоне размеров деталей.

Представленные конструкции инструментов и инструментальных систем позволяют существенно повысить производительность и стабильность резания применительно к современным металлообрабатывающим и робототехническим комплексам.

* * *

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №15-58-78024 Итал_а.

Список использованных источников

1. Григорьев С. Н., Гречишников В. А., Маслов А. Р. Инструментальные системы интегрированных машиностроительных производств: учебное пособие // М.: Изд-во «ИТО», 2013. 192 с.
2. Козочкин М. П., Маслов А. Р., Порватов А. Н. Оценка динамической жесткости станка для микрофрезерования//Вестник МГТУ Станкин. 2013. № 2 (25). С. 12-16
3. Гречишников В. А., Пивкин П. М. Резцовая головка для отрезки, обработки канавок с конической образующей и торцевых канавок на деталях различной конфигурации//Вестник МГТУ «Станкин». 2014. № 2 (29). С. 50-56.
4. Гречишников В. А., Домнин П. В., Косарев В. А., Петухов Ю. Е., Романов В. Б., Седов Б. Е. Современные методы решения задач формообразования сложного режущего инструмента – СТИН. 2013. № 12. С. 6-11.
5. Петухов Ю. Е., Домнин П. В. Способ формообразования фасонной винтовой поверхности стандартным инструментом прямого профиля//Вестник МГТУ СТАНКИН. 2011. № 3. – С. 102-106.
6. Гречишников В. А., Исаев А. В. Определение положения режущих пластин, расположенных вдоль винтовой стружечной канавки, в корпусе сборной фасонной фрезы//Вестник МГТУ СТАНКИН. – 2014. № 2 (29). – С. 34-39.
7. Григорьев С. Н., Телешевский В. И., Андреев А. Г., Кольнер Л. С., Осипов П. А. К проблеме построения прецизионных станков для изготовления изделий с нанометровой точностью// Вестник МГТУ «СТАНКИН». - 2015. -3 (34). - С. 9-14.
8. Гречишников В. А., Маслов А. Р., Пивкин П. М. Система токарных резцов для обработки торцевых канавок на станках

- с ЧПУ//Вестник «МГТУ «СТАНКИН». - 2015. - № 2 (33). - С. 23-29.
9. Верещака А. А. Повышение эффективности функциональных покрытий для режущего инструмента, осаждаемых методом КИБ-МеVVA, путем фильтрации паро-ионного потока с целью сепарации макро- и микрочастиц//Вестник МГТУ «Станкин». - 2015. - № 1 (32). - С. 41-48.
10. Маслов А. Р. Современные марки твердых сплавов для резания труднообрабатываемых материалов//Вестник МГТУ «Станкин». 2014. № 4. С. 27-30.
11. Григорьев С. Н., Кутин А. А., Долгов В. А. Принципы построения цифровых производств в машиностроении//Вестник МГТУ «Станкин». 2014. № 4 (31). С. 10-15.
12. Петухов Ю. Е., Домнин П. В. Определение задних кинематических углов при обработке винтовых фасонных поверхностей стандартными фрезами прямого профиля//Вестник МГТУ Станкин. 2014. № 2 (29). С. 27-33.
13. Маслов А. Р. Программа анализа экспериментальных данных о силах в процессе микрорезания материалов//СТИН. - 2015. - № 1. - С. 32-35.
14. Гречишников В. А., Юрасов С. Ю. математические модели и контроль режущих кромок дисковых и червячных фрез// СТИН. 2006. № 4. С. 19-22.
15. Волосова М. А., Григорьев С. Н. Режущие пластины из керамики: влияние абразивной обработки и покрытий на их эксплуатационные показатели//Вестник МГТУ «Станкин». 2011. - № 2 (14). - С. 68-74.
16. Петухов Ю. Е. Проектирование инструментов для обработки резанием деталей с фасонной винтовой поверхностью на стадии технологической подготовки производства: дис.. д-ра техн. наук: 05.03.01: М., 2004, 393 с.
17. Маслов А. Р., Молодцов В. В. Моделирование колебаний инструментальной системы для растачивания отверстий// Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2014. № 4 (31). С. 196-199.
18. Гречишников В. А., Яшков В. А., Албагачиев А. Ю., Исаев А. В., Пивкин П. М., Романов В. Б. Модернизация сборного абразивного круга с радиально-подвижными сегментами для внутреннего шлифования полых деталей роботов//Вестник МГТУ Станкин. 2015. № 4 (35). С. 8-14.
19. Волосова М. А., Гурин В. Д., Селезнев А. Е. Моделирование силовых параметров при торцевом фрезеровании закаленной стали инструментом с керамической режущей частью// Вестник МГТУ Станкин. 2015. № 4 (35). С. 30-35.
20. Гречишников В. А., Исаев А. В., Романов В. Б. Метод формирования профиля образующей исходной инструментальной поверхности сборных фасонных фрез с режущими пластинами, расположенными вдоль винтовой линии//Вестник МГТУ Станкин. 2015. № 1 (32). С. 8-12.
21. Боровский Г. В., Маслов А. Р. отделочное точение изделий оптики из хрупких материалов Finishing machining of brittle materials optics products//Вестник МГТУ Станкин. 2015. № 2 (33). С. 8-11.
22. Волосова М. А. Исследование влияния комбинированной поверхностной обработки на физико-механические характеристики оксидной и нитридной режущей керамики//Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2013. № 2 (25). С. 39-43.
23. Гречишников В. А., Колесов Н. В., Юрасов С. Ю. Шероховатость при цилиндрическом фрезеровании.//Вестник МГТУ Станкин. - № 4. - 2012. - С. 21-22.
24. Ю. Е. Петухов, А. А. Водовозов Заточивание по передней поверхности спиральных сверл с криволинейными режущими кромками//Вестник МГТУ «СТАНКИН». - 2014. - № 1 (28). - С. 39-43.
25. Исаев А. В., Козочкин М. П., Купцов В. Р. Особенности встречного и попутного фрезерования при обработке тонкостенных деталей//«Вестник МГТУ «Станкин», 2013, № 1 (24), с. 11-17.
26. В. А. Гречишников, В. Б. Романов, Е. А. Рябов и др.//Проектирование профиля долбяка с любыми заданными геометрическими параметрами/Вестник МГТУ «Станкин». 2012. № 4 (23). С. 15-17.
27. Петухов Ю. Е., Домнин П. В. Способ формообразования фасонной винтовой поверхности стандартным инструментом прямого профиля/Вестник МГТУ «Станкин». 2011. № 3. С. 102-106.

28. Григорьев С. Н. Повышение эффективности подготовки инженерно-технических кадров для машиностроения // Вестник МГТУ «Станкин». - 2012. - № 3 (22). - С. 7.
29. Некрасов А. Я. Автоматизированная система анализа схемы распределения нагрузки в многоконтактных кинематических парах: математические модели и расчетная методика // Вестник МГТУ «СТАНКИН». - 2011. - № 2 (14). - С. 8-13.
30. Григорьев С. Н., Синопальников В. А., Терешин М. В., Гурий В. Д. Контроль параметров процесса резания на основе диагностирования инструмента и заготовки // Измерительная техника. 2012. № 5. С. 46-48.
31. Григорьев С. Н. Принципы создания многофункциональной системы числового программного управления технологическим оборудованием на базе общего ядра с открытой модульной архитектурой // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2011. № 5. С. 1-11.

Innovative solutions for tooling used in metalworking and robotic machining systems in mechanical engineering

V. A. Grechishnikov, Doctor of Technical sciences, Professor, Head of the sub-department «Instrumental techniques and technologies shaping», MSTU «STANKIN».

P. M. Pivkin, Lecturer, postgraduate student of the sub department «Cutting tools and shaping technologies», MSTU «STANKIN».

A. V. Isaev, Ph. D. in Technics, associate professor, Docent of the sub department «Cutting tools and shaping technologies», MSTU «STANKIN».

Y. V. Ilyukhin, Doctor of Technical sciences, associate Professor, Professor of the sub-department «Robotics and Mechatronics», MSTU «STANKIN».

A. A. Vorotnikov, postgraduate student of the sub department «Robotics and Mechatronics», MSTU «STANKIN».

V. B. Romanov, Ph. D. in Technics, Senior lecturer of the sub department «Cutting tools and shaping technologies», MSTU «STANKIN».

In this paper, we consider the advanced technologies for metalworking industry and methods of productivity improvement for machining process

Keywords: metalworking, cutting tool, milling cutter, turning cutter.

21-23 сентября 2016 года на территории конгрессно-выставочного центра «ЭкспоФорум» одновременно пройдут IX Петербургский международный инновационный форум (ПМИФ'16) и XX Международный форум «Российский промышленник».

Совместное проведение этих мероприятий формирует уникальное пространство профессиональной коммуникации по вопросам инновационного развития промышленности и экономики России в целом.

Повестка дня:

Повестка дня форумов нацелена на практический результат в области внедрения инноваций и поддержки технологического предпринимательства, масштабирование лучших практик, создание условий для реальных сделок по трансферу технологий и инновационных разработок. Основная цель проведения мероприятий – демонстрация производственного потенциала, а также развитие конструктивного диалога между представителями государственной власти, финансовых институтов, промышленных предприятий, инвесторов и поставщиков оборудования и технологий. Ключевая задача мероприятий – демонстрация и экспертное обсуждение наиболее широкого спектра решений как в промышленности, так и в системе инноваций в целом. Программные мероприятия представлены направлениями: машиностроение, станкостроение, металлообработка, лазерное оборудование, электроника, приборостроение, светотехника, робототехника, современные промышленные материалы и их обработка.

Приглашаем вас принять участие в деловой программе форумов, а также стать участником выставочной экспозиции!

Организационный комитет IX Петербургского международного инновационного форума:

Валентин Шумовский,
тел.: +7 (921) 886-10-89,
e-mail: v.shumovsky@ingria-park.ru.

Дополнительная информация о форумах:

Петербургский международный инновационный форум: <http://www.forum.spbinno.ru>.

Международный форум «Российский промышленник»: <http://www.promexpo.expoforum.ru>.