

УДК 62-1/-9

DOI: 10.30987/article_5c7434f02f5318.79640303

А.В. Морозов, к.т.н.

(Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых,
600000, г. Владимир, ул. Горького, 87)

E-mail: ntk_2005@rambler.ru

Микрогеометрия поверхностей, подвергнутых одновременно предварительному и окончательному шлифованию

Рассмотрен процесс плоского периферийного шлифования комбинированным инструментом, обеспечивающим одновременно предварительную и окончательную обработку изделий. Установлена многофакторная модель микрогеометрии шлифованной поверхности, позволяющая управлять режимами резания для обеспечения требуемой шероховатости.

Ключевые слова: плоское шлифование; комбинированный инструмент; шероховатость; многофакторная модель; производительность.

A.V. Morozov, Can. Sc. Tech

(Stoletovs State University of Vladimir, 87, Gorky Str, Vladimir, 600000)

Micro-geometry of surfaces subjected simultaneously to preliminary and final grinding

A process of flat periphery grinding with an integrated tool is considered ensuring simultaneously a preliminary and final processing of parts. A multi-factor model of ground surface micro-geometry is defined allowing the control of cutting modes to ensure required roughness.

Keywords: flat grinding; integrated tool; roughness; multi-factor model; productivity.

Качество поверхностного слоя деталей машин является одним из доминирующих факторов, определяющих их высокую эксплуатационную надежность [1]. Требуемое качество поверхностного слоя формируется в основном при выполнении финишных технологических операций абразивной обработки, в частности операций шлифования сплошными, высокопористыми, дискретными кругами с периферийной и торцовой режущими поверхностями [2, 3].

Разработана технология дискретизации режущей поверхности шлифовальных кругов с использованием концентрированных потоков энергии [4], при этом изменяются площади и моменты сопротивления несущих сечений, что потребовало проведения исследований механической прочности дискретных шлифовальных кругов [5].

Несмотря на появление новых шлифовальных инструментов, круги со сплошной режущей поверхностью все еще наиболее широко используются в промышленном производстве машиностроительной продукции, поэтому целесообразно разрабатывать перспективные схемы обработки этими кругами.

Существующие процессы шлифования деталей в зависимости от технологических требований к микрогеометрии обработанных поверхностей и режимов резания делятся на предварительные и окончательные, при этом задачей предварительной обработки является снятие основного припуска с максимальной возможной производительностью, а окончательного – в формировании требуемой геометрии и физико-механического состояния поверхностного слоя.

Предварительное и окончательное шлифо-

вание в зависимости от программы выпуска деталей выполняют за одну либо за две технологические операции. В первом случае после предварительной обработки заготовок крупнозернистым шлифовальным кругом проводят окончательную обработку мелкозернистым, что требует замены крупно- на мелкозернистый шлифовальный круг. При этом необходимо раскрепить крупнозернистый круг, снять со шпинделя станка, установить и закрепить на шпинделе мелкозернистый круг, провести его балансировку, правку режущей поверхности алмазным инструментом и, наконец, окончательную балансировку. Далее мелкозернистый шлифовальный круг настраивают на выполнение заданного размера.

При выполнении двух шлифовальных операций замена крупно- на мелкозернистый круг не требуется, но необходимо после предварительной обработки заготовку раскрепить, транспортировать к шлифовальному станку для окончательной обработки, базировать и закрепить на рабочем столе.

Выполнение описанных приемов требует затрат большого количества вспомогательного времени, в течение которого дорогостоящее технологическое оборудование простаивает. Кроме увеличения вспомогательного времени, при дифференцированной обработке заготовок возрастает также машинное время, связанное непосредственно с процессом резания, что приводит к снижению производительности обработки и повышению технологической себестоимости изделия.

Шлифование с использованием двух операций требует применения транспортного средства для перемещения заготовок от станка операций предварительного шлифования к станку окончательной обработки, увеличения производственной площади под оборудование и количества рабочих-шлифовщиков.

Известно шлифование, при котором используют инструмент, состоящий по высоте из двух соосно установленных абразивных кругов для предварительного шлифования и расположенного между ними кругом для окончательного.

Участки для предварительного шлифования имеют более высокую зернистость, но меньшую концентрацию абразивных зерен, чем участок для окончательного шлифования. Описанные инструменты позволяют уменьшить тепло, образующееся в зоне обработки, но не решают при этом вопрос улучшения геометрии шлифованной поверхности, поскольку поверхность заготовки, подвергнутая

окончательной обработке мелкозернистым кругом, подвергается воздействию крупнозернистого инструмента, что ухудшает геометрию обработанной поверхности. Поэтому для обеспечения малой шероховатости поверхности требуется выполнение окончательной операции.

Устранить описанные вспомогательные приемы, уменьшить производственную площадь можно, если предварительную и окончательную обработку выполнить одновременно на одном шлифовальном станке с использованием комбинированного шлифовального инструмента [6].

Технологическая операция плоского периферийного шлифования комбинированным инструментом выполняется следующим образом. Мелкозернистый 1 и крупнозернистый 2 шлифовальные круги (рис. 1, а, б) устанавливаются на шпинделе 3 плоскошлифовального станка так, чтобы крупнозернистый круг 2 располагался между передней опорой 4 и мелкозернистым кругом 1. При таком расположении кругов мелкозернистый круг наиболее удален от передней опоры 4 шпинделя.

Кольцевая прокладка 5 устраняет контакт абразивного материала обоих кругов, а ее ширина больше диаметра алмазного карандаша, используемого для правки обоих кругов. Заготовку 6 устанавливают на магнитном столе 7 так, чтобы она располагалась за крупнозернистым кругом 2. Оператор 8 настраивает станок на снятие припуска Z_{pr} , на предварительную обработку, для чего оба шлифовальных круга опускает вниз. В результате круги 1, 2 и заготовка 6 занимают исходное положение перед началом обработки (рис. 1, а). Включает вращение шпинделя 3 с кругами 1 и 2 в направлении стрелки D_r (рис. 1, б), продольную D_{spr} и поперечную D_{sp} подачу заготовки 6 – по указанным стрелкам, после чего в работу вступает крупнозернистый круг 2.

Заготовка 6 периодически перемещается по направлению к оператору 8, в результате чего крупнозернистый круг 2 начинает контактировать с заготовкой по всей высоте, а затем в работу вступает мелкозернистый круг 1, который снимает припуск Z_0 на окончательную обработку. В этом положении кругов 1, 2 и заготовки 6 происходит одновременно предварительная и окончательная обработка, т.е. так называемое совмещенное шлифование. При дальнейшем дискретном перемещении заготовки влево по стрелке D_{sp} круги 1 и 2 выходят из контакта с заготовкой 6, а цикл комбинированного шлифования заканчивается.

ся, так как заготовка прошла предварительную и окончательную обработку.

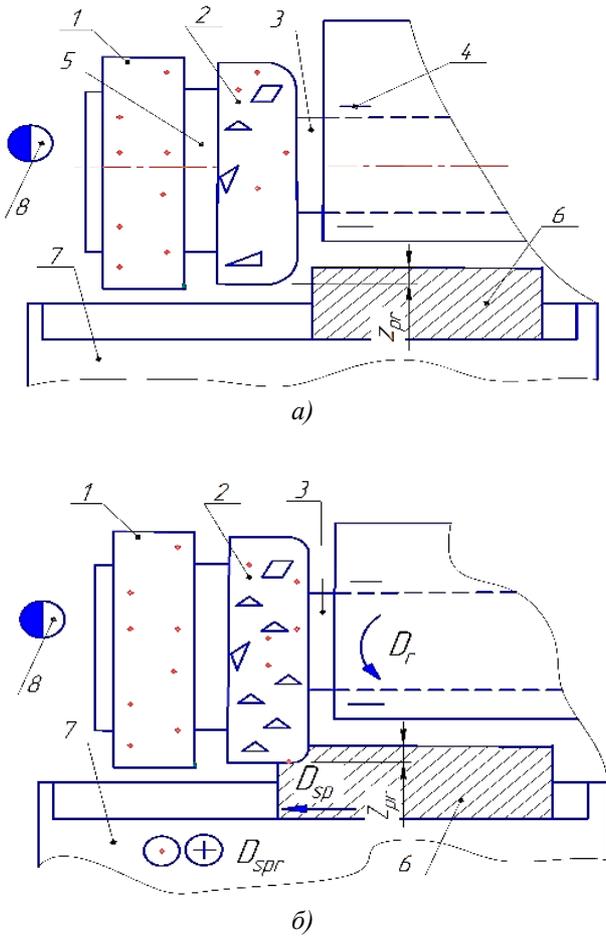


Рис. 1. Расположение заготовки относительно шлифовальных кругов перед обработкой (а) и начало шлифования крупнозернистым кругом (б)

Для обеспечения высоких требований к шероховатости обработанных поверхностей выполняют дополнительный технологический переход шлифования мелкозернистым кругом, при отсутствии контакта крупнозернистого круга с заготовкой (рис. 2, б).

Диаметр режущей поверхности крупнозернистого шлифовального круга меньше по сравнению с диаметром мелкозернистого, поэтому окончательный технологический переход шлифования протекает без ухудшения поверхности крупнозернистым кругом, которое характерно для известных способов шлифования. При выполнении дополнительного технологического перехода стол с заготовкой перемещается по стрелке D_{sp} в направлении от оператора δ (рис. 2, б).

На основании изложенного выдвинута гипотеза о том, что совмещенное шлифование в состоянии обеспечивать геометрию обра-

танной поверхности не хуже, чем при традиционном шлифовании мелкозернистым кругом. Для проверки гипотезы проведены многофакторные экспериментальные исследования шероховатости поверхностей, обработанных предложенным и традиционным шлифовальными кругами.

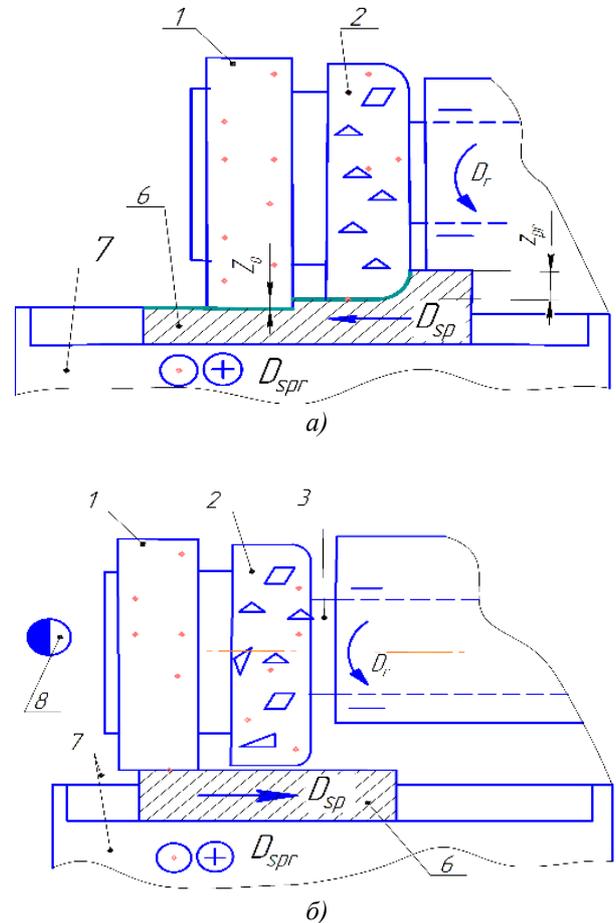


Рис. 2. Одновременная обработка заготовки крупно- и мелкозернистыми кругами (а) и окончательная обработка мелкозернистым кругом (б)

При комбинированном шлифовании использовали два круга, закрепленные на шпинделе плоскошлифовального станка мод. 3Г71М. Предварительную обработку выполняли крупнозернистым кругом ПП 250*76*20 25AF46L8V5A2 ГОСТ Р52381-2005, ГОСТ Р52587-2006, а окончательную – кругом ПП 250*76*10 25AF90K8V5A2 при скорости резания 35 м/с. При традиционном и комбинированном шлифовании использовали одинаковые режимы резания, станок и характеристики абразивного материала кругов, но при традиционном шлифовании заменяли крупнозернистый на мелкозернистый круг.

Обрабатывали вкладыши из стали 30ХГСА,

твердостью 29,0...35,5 HRC_э с расходом 15 л/мин 5 %-ного водного раствора эмульсола LACTVCA WBA 5400. Среднее арифметическое отклонение профиля *Ra* шлифованной поверхности измеряли профилометром SJ-201P (Япония).

Была реализована матрица планирования полного факторного эксперимента $N = 2^3 = 8$. В качестве независимых факторов выбраны толщина *t* припуска, снимаемого за двойной ход стола; продольная S_{pr} и поперечная S_p подача заготовки.

В результате статистической обработки данных многофакторного эксперимента, проверки уравнения регрессии на адекватность с использованием критерия Фишера, получены модели шероховатости поверхности в функции независимых факторов. Интерактивное влияние толщины снимаемого припуска *t* и продольной подачи S_{pr} на параметр *Ra* описывается уравнением:

$$Ra = 0,1885 + 1,75t + 0,0222S_{pr}. \quad (1)$$

Графическая интерпретация уравнения (1) представлена 3D-XYZ поверхностью-графиком (рис. 3), справа от которого изображен столбец из четырех прямоугольников с численными значениями шероховатости шлифованной поверхности.

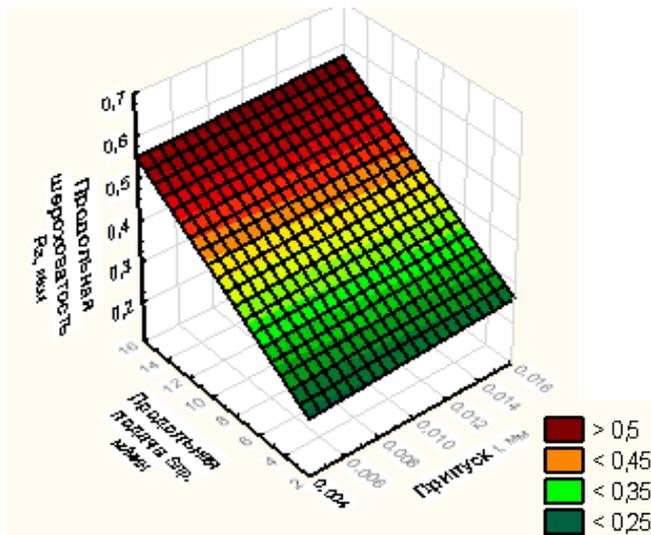


Рис. 3. 3D-XYZ поверхность-график влияния величины припуска и продольной подачи на продольную шероховатость поверхности после комбинированного шлифования

Участки поверхности отклика имеют различный цвет, что позволяет при помощи названного столбца прямоугольников количест-

венно оценить значение среднего арифметического отклонения профиля *Ra* шлифованной поверхности для произвольного сочетания значений припуска и продольной подачи.

Интерактивное влияние продольной S_{pr} и поперечной S_p подачи на параметр *Ra* поверхности, подвергнутой комбинированному шлифованию, описывается уравнением:

$$Ra = 0,0135 + 0,0222S_{pr} + 0,0481S_p. \quad (2)$$

Графическая интерпретация уравнения (2) представлена 3D-XYZ поверхностью-графиком (рис. 4), справа от которого изображен столбец с шестью прямоугольниками и численными значениями шероховатости обработанной поверхности. Интерактивное влияние величины припуска *t* и поперечной подачи S_p на среднее арифметическое отклонение профиля *Ra* поверхности описывается уравнением регрессии:

$$Ra = 0,1963 + 1,75t + 0,0481S_p. \quad (3)$$

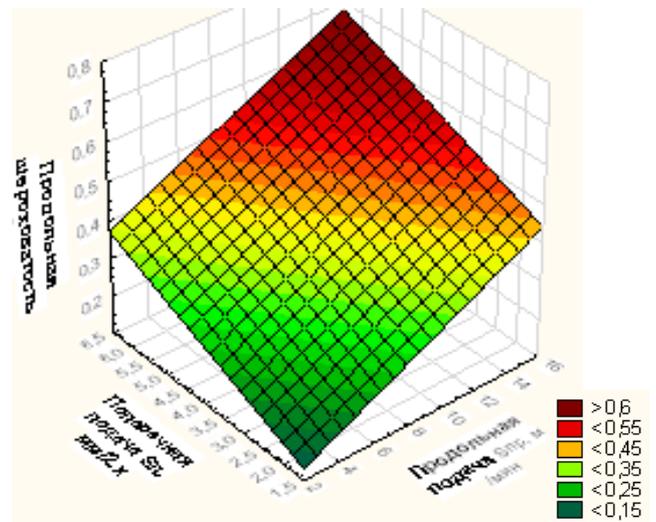


Рис. 4. 3D-XYZ поверхность-график интерактивного влияния продольной и поперечной подачи на продольную шероховатость поверхности

Графическая интерпретация уравнения (3) представлена 3D-XYZ поверхностью-графиком (рис. 5). Анализ уравнений (2) – (4), а также 3D-XYZ поверхностей-графиков (см. рис. 3, 4, 5) свидетельствует о том, что наибольшее влияние на микрогеометрию поверхностей, обработанных способом комбинированного шлифования, оказывает продольная подача заготовки, затем по степени влияния следуют поперечная подача и величина припуска, сни-

маемого за каждый двойной ход стола с заготовкой.

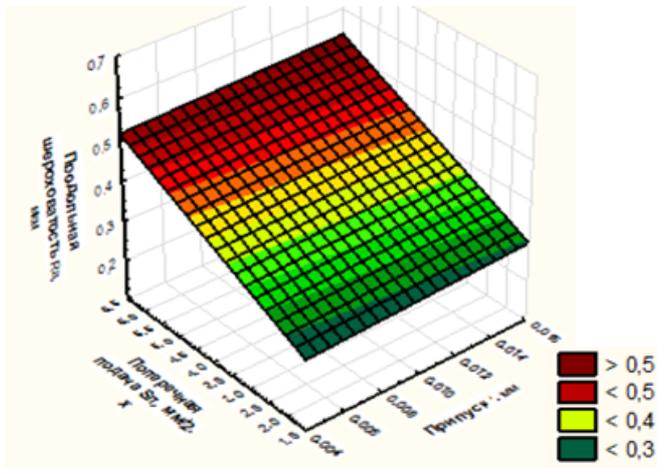


Рис. 5. 3D-XYZ поверхность-график интерактивного влияния величины снимаемого припуска и поперечной подачи на продольную шероховатость поверхности

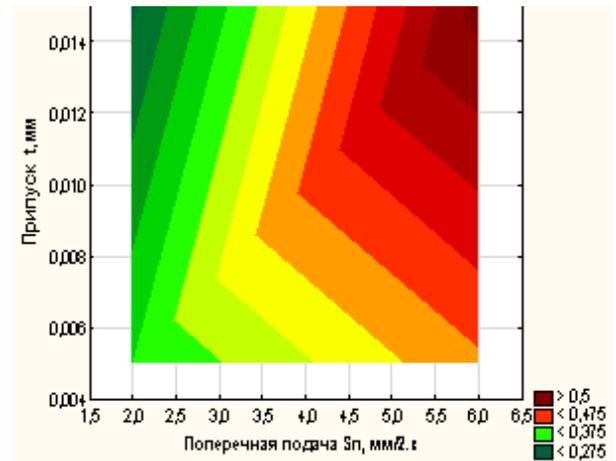
Увеличение независимых факторов вызывает возрастание параметра Ra , что объясняется повышением внешней нагрузки на каждое режущее зерно и технологическую систему в целом. Важными являются 3D-XYZ контуры-графики (рис. 6, а, б), на основании которых назначают режим комбинированного шлифования, обеспечивающий соблюдение требований рабочего чертежа детали по параметру Ra при максимально возможной производительности процесса обработки.

Полученные математические модели микрогеометрии и информация, содержащаяся в 3D-XYZ графиках, представляют научную базу для разработки эффективных технологических процессов комбинированного шлифования ответственных поверхностей.

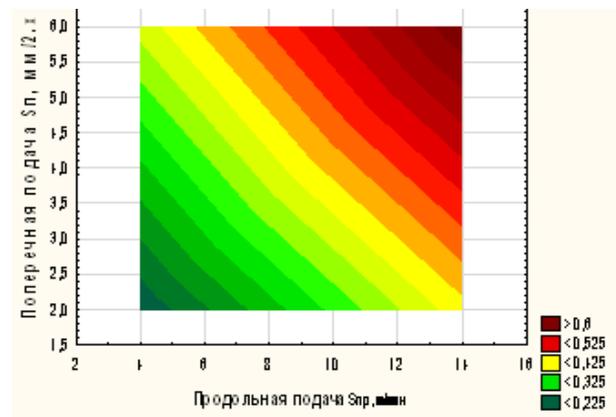
Кроме этого, для сравнения микрогеометрии поверхностей, подвергнутых шлифованию традиционным и предложенным способами, проведены опыты по известной технологии на верхнем и нижнем уровнях независимых факторов.

В результате было установлено, что параметр Ra после комбинированного шлифования значительно меньше по сравнению с обработкой крупнозернистым кругом по известному способу, что объясняется применением инструмента с более крупным зерном. Вместе с этим, шероховатость поверхности, обработанной по известному способу мелкозернистым кругом, ниже на 5...7 %, чем при комбинированном шлифовании, что объясняется одновременной работой крупно- и мелкозернисто-

го шлифовальных кругов, и более динамичной работой технологической системы из-за работы крупнозернистого круга.



а)



б)

Рис. 6. 3D-XYZ контуры-график интерактивного влияния поперечной подачи заготовки и снимаемого припуска на продольную шероховатость поверхностей

Реализация окончательного технологического перехода комбинированного шлифования, при котором работает лишь один мелкозернистый круг, приводит к снижению параметра Ra до значений, характерных для окончательного традиционного шлифования названным кругом.

Таким образом, предлагаемый способ шлифования позволяет на одном шлифовальном станке выполнять одновременно предварительную и окончательную обработку деталей без замены шлифовального круга и не уступает по микрогеометрии поверхностей, характерной для окончательного традиционного шлифования.

Выводы

Разработан новый способ комбинированного шлифования ответственных поверхностей,

позволяющий на одном станке проводить одновременно предварительную и окончательную обработку поверхностей. Проведены планируемые многофакторные экспериментальные исследования. Получены математические модели, описывающие среднее арифметическое отклонение профиля шлифованной поверхности с независимыми факторами процесса. Модели являются научной базой для разработки эффективных технологических процессов комбинированного периферийного шлифования. Сравнение экспериментальных значений параметра Ra , характерных для предложенного и традиционного способов шлифования свидетельствует об их равнозначности при сокращении основного и вспомогательного времени на выполнение технологической операции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Суслов, А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.
2. Гусев, В.Г., Морозов, А.В. Плоское периферийное шлифование дискретными кругами: монография [текст]. – Йошкар-Ола: Коллоквиум, 2012. – 222 с. ISBN 978-5-905371-38-7.2
3. Морозов, А.В., Гусев, В.Г. Дискретное плоское торцовое шлифование монография [текст]. – М.: Издательство «Перо», 2016. – 124 с. ISBN 978-5-906927-57-6.
4. Гусев, В.Г., Морозов, А.В. Технология дискретизации рабочих поверхностей шлифовальных кругов лазером

и гидроабразивной струей // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2017. – № 9(75). – С. 21 – 27.

5. Морозов, А.В., Гусев, В.Г. Моделирование напряженного состояния режущей поверхности дискретного шлифовального круга // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2017. – № 10(76). – С. 23 – 29.

6. Пат. №2606143 РФ. Способ шлифования // Гусев В.Г., Морозов А.В.; опубл. 10.01.2017. Бюл. № 1.

REFERENCES

1. Suslov, A.G. *Quality of Machinery Surface Layer*. – M.: Mechanical Engineering, 2000. – pp. 320.
2. Gusev, V.G., Morozov, A.V. *Flat Periphery Grinding with Discrete Disks*: monograph [text]. – Yoshkar-Ola: colloquium, 2012. – pp. 222. ISBN 978-5-905371-38-7.2
3. Morozov, A.V., Gusev, V.G. *Discrete Flat Face Grinding*: monograph [text]. – M.: Publishing House “Pero”, 2016. – pp.124. ISBN 978-5-906927-57-6.
4. Gusev, V.G., Morozov, A.V. Sampling technology of abrasive disk working surfaces with laser and water jet // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2017. – No. 9(75). – pp. 21-27.
5. Morozov, A.V., Gusev, V.G. Stress state modeling of cutting surface in discrete grinding disk // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2017. – No. 10(76). – pp. 23-29.
6. Pat. No. 26061143 RF. *Method of Grinding* // Gusev V.G., Morozov A.V.; published. 10.01.2017. Bull. No. 1.

Рецензент д.т.н. В.Г. Гусев

Реклама Вашей продукции в нашем журнале – один из способов достижения Вашего успеха!

Журнал «Научно-технические технологии в машиностроении» читают руководители и специалисты предприятий машиностроительного комплекса.

Публикация рекламного объявления в нашем журнале даст Вам возможность:

- найти партнеров, заинтересованных в современных исследованиях, а также внедрении Ваших идей и разработок в области машиностроения;
- установить контакты с организациями и фирмами России и стран ближнего и дальнего зарубежья;
- наладить обмен информацией.

Обращайтесь в редакцию! E-mail: naukatm@yandex.ru