

– исходя из соотношения цены и эффективности токарной обработки деталей из титановых сплавов для машиностроительных предприятий можно рекомендовать СМП SNMM 250724 R1 AP20TM и SNMM 250724 R1 TP20TM Кировоградского завода твердых сплавов.

#### Библиографические ссылки

1. Белый А. В., Карпенко Г. Д., Мышкин Н. К. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев. – М. : Машиностроение, 1991. – 208 с.
2. Кузультинов С. Д., Ковальчук А. К., Портнов И. И. Технология обработки конструкционных материалов : учеб. пособие для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 678 с.

\*\*\*

S. V. Zhilyayev, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

S. D. Kugultinov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

I. V. Popov, Team Manager of the Chief Production Engineer Department, OJSC "Votkinsk plant"

#### Increasing the effectiveness of rough turning of titanium alloys parts

*The paper represents the ways of increasing the effectiveness of the rough turning of titanium alloys parts, as well as results of comparative durability tests of replaceable multisided throwaway tips of domestic and foreign production.*

**Keywords:** titanium alloys, turning tools, throwaway tips, rough turning, productivity

Получено: 11.05.12

УДК 621.9.011

К. Н. Козлова, ассистент;

Сарапульский политехнический институт (филиал) Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова

Н. С. Сивцев, доктор технических наук, профессор;

И. Б. Покрас, доктор технических наук, профессор;

В. П. Шеногин, доктор технических наук, профессор

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ВЫГЛАЖИВАНИЕМ\*

*Изложены методика и результаты моделирования контактных процессов при обработке плоских поверхностей выглаживанием.*

**Ключевые слова:** моделирование, трение, изнашивание

---

© Козлова К. Н., Сивцев Н. С., Покрас И. Б., Шеногин В. П., 2012

\* Финансирование публикации осуществлено за счет средств субсидии Министерства образования и науки Российской Федерации, направленной на реализацию комплексного проекта «Организация высокотехнологичного производства конденсаторов нового поколения», шифр 2010-218-02-259.

Решение проблемы экономичного достижения требуемой размерной точности и качества рабочих поверхностей деталей в процессах поверхностного пластического деформирования (ППД) в значительной мере определяется эволюцией подходов к изучению условий контактного взаимодействия и трения инструмента с заготовкой.

Контактные задачи в настоящее время решены только на механическом уровне для тел правильной геометрической формы, обладающих идеальными свойствами. Сложность решения этих задач связана с многообразием формы микронеровностей, наклепом материала, анизотропией его свойств, упругопластическим характером деформации, различной высотой микронеровностей, неодинаковыми условиями их взаимодействия. С развитием триботехнологии и появлением новых инструментальных материалов чрезвычайно возросло и количество возможных комбинаций в трибосистеме инструментальный материал – смазка – обрабатываемый материал. Решение вопросов оптимизации этих комбинаций путем натурных испытаний в процессах ППД является крайне трудоемким и дорогостоящим.

В этой связи исключительную практическую ценность для выбора рационального трибологического решения при обработке деталей методами ППД приобретает трибомониторинг – экспериментальные исследования контактных процессов, в частности, испытания на трение, износ и определение трибологических характеристик, которые выполняются на различных моделях и натурных образцах с использованием современной испытательной техники.

В настоящей статье изложены методика и результаты, полученные при моделировании контактных процессов при обработке плоских поверхностей выглаживанием, – метода ППД, применяемого для сглаживания микронеровностей и поверхностного упрочнения деталей. Моделирование контактных процессов при взаимодействии инструмента с заготовкой выполнено на установке для испытаний на трение и изнашивание SRV III Test System (Optimol Instruments Prüftechnik GmbH, Munich, Germany).

Установка модели SRV III Test System предназначена для оценки антифрикционных свойств материалов, гальванических покрытий с возможностью использования многообразных схем испытаний для моделирования различных видов трения, а также оснащена датчиком измерения износа образцов в процессе испытания.

Установка позволяет использовать разные образцы и осуществлять испытания по нескольким базовым схемам (рис. 1), при выполнении которых реализуются различные условия контактного взаимодействия образцов.

В качестве базовой схемы для испытаний выбрана схема 4 (рис. 1), воспроизводящая реальный процесс выглаживания плоских поверхностей, осуществляемый при скольжении инструмента по локально контактирующей с ним и вращающейся с постоянной угловой скоростью поверхности деформируемого диска [1]. Схема соответствует кинематической подмодели трения и износа в типичной трибологической системе, разработанной А. В. Чичинадзе и Э. Д. Брауном [2–4].

В выбранной схеме испытаний узел трения включал вращающийся испытательный диск (рис. 2) и индентор со сферическим полированным наконечником (рис. 3). Сферическая форма рабочей поверхности индентора выбрана из условия обеспечения точечного контакта с поверхностью диска (коэффициент взаимного перекрытия  $K_{вз} \approx 0$ ).

Материал инденторов – твердый сплав ВК6.

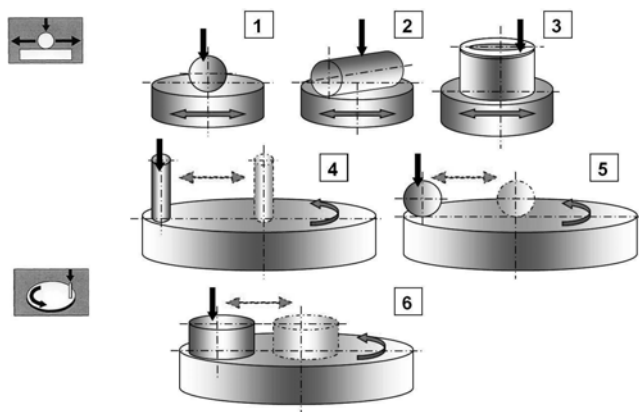


Рис. 1. Базовые схемы испытаний: 1, 5 – диск-шар; 2 – диск-цилиндр (образующая); 3 – диск-кольцо; 4 – диск-палец (штифт); 6 – диск-цилиндр (торец), кольцо



Рис. 2. Общий вид вращающегося испытательного диска



Рис. 3. Общий вид индентора

Для изготовления деформируемых образцов выбрана сталь 20Х17Н2 – высокопрочная для тяжело нагруженных деталей, работающих на истирание и удар. Спектральный анализ материала выполнен с помощью переносного оптикоэлектронного спектрометра Belec Compact Port.

Очистка образцов перед испытанием проводилась в ультразвуковых ваннах в этиловом спирте.

В качестве смазки для испытаний использовали смазку Литол-24 (ГОСТ 21150–87).

При выборе режимов выглаживания для испытаний использованы результаты ранее проведенных исследований [5, 6].

Нагрузку  $N$ , с которой инструмент прижимается к обрабатываемой поверхности, назначают в зависимости от обрабатываемого материала. Для выглаживания деталей из материалов средней твердости сила прижима равна не более 100–150 Н, а из высокопрочных материалов – не более 200–250 Н. Увеличение силы выглаживания выше указанных пределов снижает стойкость инструмента и может вызвать ухудшение качества поверхности.

Качество поверхности зависит от подачи инструмента. При изменении подачи от 0,02 до 0,10 мм/об шероховатость поверхности возрастает, при этом ее остаточная пластическая деформация уменьшается. Наименьшее значение шероховатости достигается при подачах 0,02–0,04 мм/об, с уменьшением которых шероховатость изменяется незначительно. При увеличении подач от 0,08 до 0,10 мм/об и выше шероховатость поверхности изменяется также незначительно.

Скорость выглаживания мало влияет на шероховатость обработанной поверхности. Рабочий диапазон скоростей находится в пределах 16–120 м/мин. Дальнейшее увеличение скорости выглаживания приводит к росту шероховатости и при значениях 200 м/мин и более приводит к перегреву инструмента и повышению его изнашивания.

Выбранные с учетом приведенных рекомендаций режимы выглаживания для проведения испытаний приведены в таблице.

#### Режимы для проведения испытания

| Номер серии испытаний | Скорость, об/мин | Нагрузка, Н | Подача, мм/об |
|-----------------------|------------------|-------------|---------------|
| 1                     | 50               | 50          | 0,02          |
| 2                     | 50               | 50          | 0,03          |
| 3                     | 50               | 75          | 0,02          |
| 4                     | 50               | 75          | 0,03          |
| 5                     | 50               | 100         | 0,02          |
| 6                     | 50               | 100         | 0,03          |

#### Результаты испытаний

Ранее установлено [7], что характер влияния контактного давления на коэффициент трения при упругопластической и пластической деформациях металла может быть различным в зависимости от условий деформации. При определенных условиях коэффициент трения слабо зависит от давления. В других случаях коэффициент трения может либо возрастать, либо снижаться при увеличении давления.

Выполненные испытания показали, что при выглаживании экспериментальных образцов повышение нагрузки от 50 Н до 100 Н ведет к снижению коэффициента трения (рис. 4).

Полученный результат означает, что закон трения Амонтона ( $F_{тр} = fN$ ) при обработке выглаживанием строго не выполняется, а величина коэффициента трения зависит от условий деформирования.

В ходе проведенных испытаний износ индентора при различных режимах выглаживания оценивали через объем материала, отделенного с его сферической поверхности на обусловленном пути.

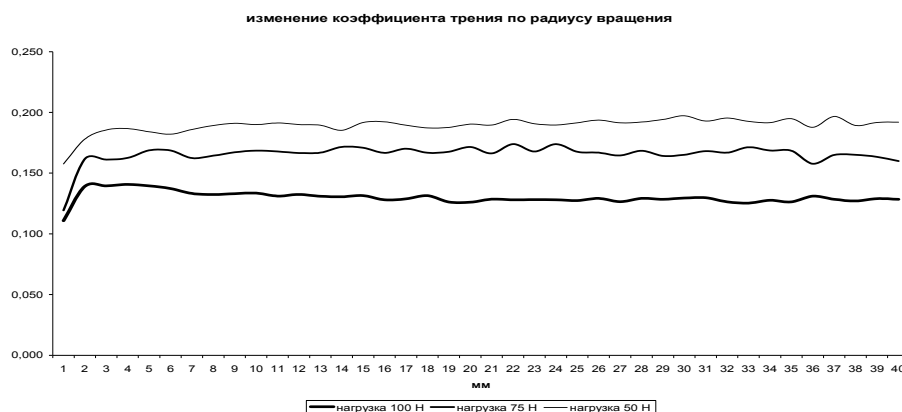


Рис. 4. Изменение коэффициента трения при движении индентора от центра к периферии вращающегося диска при различных нагрузках

Анализ полученных результатов показал, что доминирующим фактором изнашивания индентора является нагрузка выглаживания, с ростом которой износ индентора увеличивается (рис. 5).

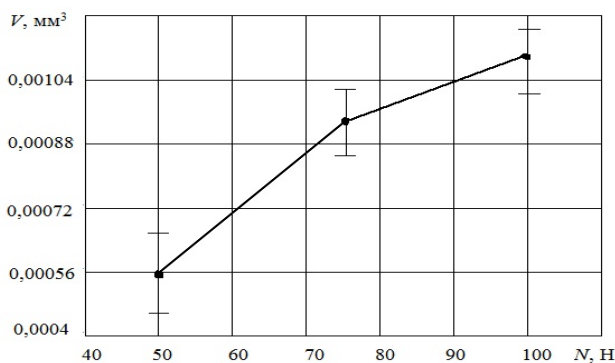


Рис. 5. Изменение износа индентора в зависимости от нагрузки

Изменение подачи в диапазоне 0,02–0,03 мм/об на износ индентора не влияет.

Результаты изменения твердости поверхностного слоя образцов после выглаживания показали (рис. 6), что с увеличением нагрузки на индентор твердость поверхностного слоя деформированных образцов увеличивается.

Вместе с тем, как показали выполненные контрольные эксперименты, для исследуемой комбинации инструментальный материал – смазка – обрабатываемый материал дальнейшее повышение нагрузки на индентор для увеличения твердости поверхностного слоя нецелесообразно, так как на деформируемых образцах появлялись задиры.

Приведенная на рис. 7, 8 качественная и количественная картина изменения шероховатости поверхности испытательного диска после выглаживания свидетельствует о значительном уменьшении шероховатости поверхности после обработки.

В абсолютных величинах шероховатость поверхности при нагрузке на индентор 100 Н изменяется от исходной  $R_a$  0,2 мкм –  $R_a$  0,604 мкм (8-й класс шероховатости) до  $R'_a$  0,065 мкм –  $R'_a$  0,086 мкм (12-й класс).

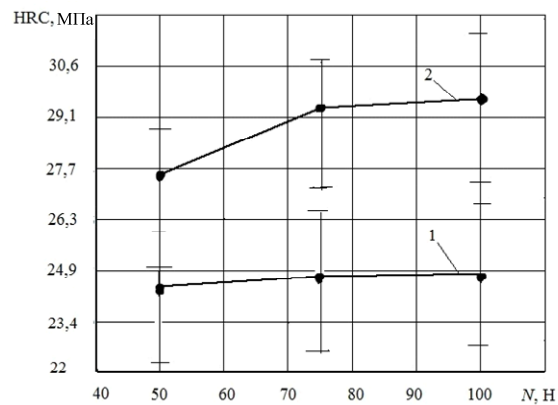


Рис. 6. Изменение твердости деформируемых образцов в зависимости от нагрузки:  
1 – твердость до испытаний; 2 – твердость после испытаний



Рис. 7. Испытательный диск после выглаживания

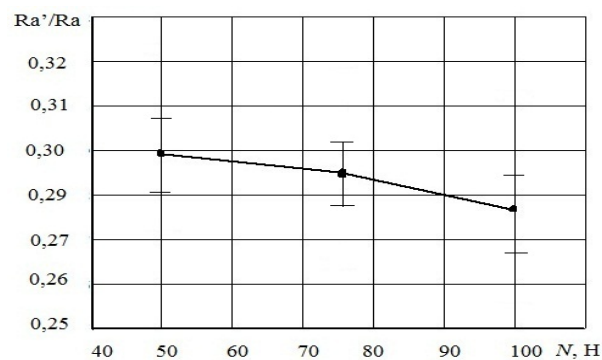


Рис. 8. Изменение шероховатости поверхности после выглаживания  
в зависимости от нагрузки

### Выводы

1. Результаты трибомониторинга подтвердили влияние условий контактного взаимодействия инструмента с заготовкой на значение коэффициента трения при упругопластической и пластической деформации металла. При обработке выглаживанием основным фактором, влияющим на коэффициент трения и износ инструмента, является нагрузка, прикладываемая к инструменту. С ее повышением происходит снижение коэффициента трения и увеличение износа инструмента. В выполненных испытаниях влияние подачи на изменение отмеченных трибологических характеристик не выявлено.

2. В выбранных для испытаний режимах выглаживания и комбинации инструментальный материал – смазка – обрабатываемый материал твердость поверхностного слоя увеличивается на 14 %, шероховатость поверхности снижается более чем на 60 % от исходной и достигает 12-го класса.

3. Трибомониторинг контактных процессов с использованием современной испытательной техники и методик испытаний, разработанных с учетом особенностей конкретных процессов, обеспечивает оперативное получение трибологических характеристик в процессах обработки методами ППД при различных режимах и комбинациях в трибосистеме инструментальный материал – смазка – обрабатываемый материал. Это позволяет сократить сроки и затраты на принятие оптимального решения при технологической подготовке производства деталей машин и механизмов.

### Библиографические ссылки

1. Козлова К. Н., Сивцев Н. С., Яковлев А. Ю. Кинематическая подмодель для исследования трения и изнашивания при обработке плоских поверхностей деталей машин выглаживанием // Инженерия поверхности и реновация изделий : материалы 11-й Междунар. науч.-техн. конф. (23–27 мая 2011 г., Крым, г. Ялта). – Киев : АТМ Украины, 2011. – С. 87–90.
2. Браун Э. Д., Евдокимов Ю. А., Чичинадзе А. В. Моделирование трения и изнашивания в машинах. – М. : Машиностроение, 1982. – 190 с.
3. Основы трибологии (трение, износ, смазка) : учеб. для техн. вузов / А. В. Чичинадзе, Э. Д. Браун, Н. А. Буше и др. ; под общ. ред. А. В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение, 2001. – 664 с.
4. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А. В. Чичинадзе, Э. М. Берлинер, Э. Д. Браун и др. ; под общ. ред. А. В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение, 2003. – 576 с.
5. Чистосердов П. С. Комбинированные инструменты для совмещения процессов резания и поверхностно-пластического деформирования. – М. : НИИмаш, 1975. – 45 с.
6. Чистосердов П. С., Жуковец Г. С. Комбинированные инструменты для обработки поверхностно-пластическим деформированием. – М. : НИИинформтяжмаш, 1976. – 59 с.
7. Грудев А. П., Зильберг Ю. В., Тилик В. Т. Трение и смазки при обработке металлов давлением : справ. – М. : Металлургия, 1982. – 312 с.

\*\*\*

K. N. Kozlova, Assistant, Sarapul Polytechnic Institute, Branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University

N. S. Sivtsev, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

I. B. Pokras, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

V. P. Shenogin, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

### Modeling contact processes at burnishing

*Methodology and results of modeling contact processes at flat surfaces burnishing are considered.*

**Keywords:** modeling, friction, wear

Получено: 15.04.12

УДК 621.09.07, 621.757

*В. С. Лазарчук, аспирант;*

*В. Г. Осетров, доктор технических наук, профессор*

*Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова*

## ПЛАНИРОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ СБОРКИ В СОВРЕМЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

*Описываются типы производств, проводятся их сравнительные характеристики, об-  
суждаются возможности и актуальность использования визуализации процессов сборки  
в различных типах производств. Предлагаются готовые модели организации ускоренного  
обучения рабочих-сборщиков, описываются их преимущества.*

**Ключевые слова:** виртуальная сборка, электронная схема сборки, коэффициент закреп-  
ления операций, сборочный обучающий класс, пример работы ВПС

На сегодняшний момент существует несколько типов производств, на которые подразделяют производства в зависимости от совокупности экономических, техни-  
ческих характеристик, выбор которых зависит от рациональности выпуска опреде-  
ленного объема изделий. Главной характеристикой типов производств является  
КЗО (коэффициент закрепления операций), которым определяют отношение всех  
технологических операций (выполнение которых необходимо в текущем месяце)  
к числу рабочих мест. Рассмотрим подробнее типы организации производств, углуб-  
лимся в их составляющие и выявим такие типы производств, на которых применение  
виртуальной сборки сократит время технологической подготовки производства.

В единичном производстве изготавливаются изделия широкой номенклатуры,  
для которых характерен малый объем выпуска подобных изделий. Объем выпуска  
этих изделий определяется предприятием в течение планируемого интервала вре-  
мени. Главной особенностью единичного производства является разнообразие тех-  
нологических операций, выполняемых на рабочих местах, которые повторяются  
крайне редко либо не повторяются вообще. На таком производстве применяется  
высокоточное оборудование, которое расставляется на участки с технологической  
специализацией.

Серийное производство в зависимости от количества изделий в серии, значения  
коэффициента закрепления операции подразделяется на три вида: мелкосерийное,  
среднесерийное и крупносерийное производство. Только правильное представле-  
ние технологом о технической оснащенности, условиях производства позволит  
определить характер производства. Особенности серийного производства явля-  
ются: широкое применение САПР и станков с ЧПУ, использование специализиро-  
ванной универсальной технологической оснастки.