

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
“БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”

УДК 621.787.4

КАМЧИЦКАЯ
ИРИНА ДМИТРИЕВНА

УПРОЧНЯЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАПРАВЛЯЮЩИХ
СТАНИН СТАНКОВ НА ОСНОВЕ ЛЕЗВИЙНОЙ И ПНЕВМОВИБРОДИНА-
МИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Специальность 05.02.08

«Технология машиностроения»

**Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Работа выполнена в государственном учреждении высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет»

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор

Анатолий Петрович Минаков,
ГУВПО «Белорусско-Российский университет»,
г. Могилев.

Официальные оппоненты

- доктор технических наук, профессор
Лев Михайлович Кожуро,
Белорусский государственный аграрный
технический университет, г. Минск
- кандидат технических наук, доцент
Гарлачев Николай Семенович,
ГУВПО «Белорусско-Российский университет»,
г. Могилев.

Оппонирующая
организация

- Белорусский национальный технический
университет, г. Минск.

Защита диссертации состоится «22» декабря 2006 г. на заседании совета по защите диссертаций К 02.18.01 в государственном учреждении высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет» по адресу: 212005, г. Могилев, пр-т Мира, 43.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке государственного учреждения высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет».

Автореферат разослан «___» _____ 2006 г.

**Ученый секретарь
Совета по защите диссертаций
доктор физико-математических наук**

В.И. Борисов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации

Износ направляющих поверхностей станин металлорежущих станков является одной из основных причин потери станком начальной точности в процессе его эксплуатации. Поэтому повышение износостойкости направляющих станин станков, как при ремонте, так и при их изготовлении, является одной из актуальных задач машиностроительного производства.

Большой резерв повышения износостойкости поверхностей направляющих станин станков заложен в финишной упрочняющей обработке пластическим деформированием (ППД) – накатывании роликами (шариками) с постоянным усилием (жесткими инструментами). Возникающие в поверхностном слое остаточные напряжения сжатия способствуют повышению долговечности деталей. Тем не менее, упрочнение поверхности обкатными инструментами, несмотря на свои преимущества, имеет недостатки, ограничивающие его широкое использование:

- 1) относительно низкую производительность,
- 2) при обкатывании поверхности, материалом которой является чугун, давление на деформирующий элемент не должно превышать 750 Н, обработка должна проводиться за 1 рабочий ход, в противном случае возможен перенаклеп;
- 3) получение слишком гладкой поверхности, неспособной удерживать смазку.

Разновидностью ППД является вибрационное накатывание, предложенное проф. Ю.Г. Шнейдером, при котором на поверхности трения скольжения деталей, наряду с образованием тонкого пластически деформированного упрочненного слоя металла, создается регулярный микрорельеф в виде канавок сферического профиля глубиной до 20 мкм с шероховатостями, однородными по размерам, ширине и взаиморасположению. В результате вибрационного накатывания в сопряженных направляющих достигается повышение износостойкости и противозадирной стойкости, улучшение и сокращение времени приработки сопряженных поверхностей трения, улучшение плавности перемещения подвижных деталей, уменьшение потерь на преодоление сил трения и повышение контактной жесткости, повышение маслостойкости поверхности трения. Однако процесс вибрационного накатывания производится весьма громоздкими специальными приспособлениями и является малопродуктивным.

В 1986 г. авторы П.И. Ящерицын и А.П. Минаков предложили способ импульсно-ударной обработки пластическим деформированием плоских поверхностей, обладающий всеми преимуществами вибрационного накатывания по достигаемому результату, но превосходящий его на порядок по производительности. Кроме того, инструмент для осуществления импульсно-ударной упрочняющей обработки плоских поверхностей достаточно прост, надежен и долговечен в эксплуатации.

Изложенное явилось основанием для создания, разработки и исследования нового процесса, позволяющего усовершенствовать существующую технологию ремонта направляющих станин станков.

Связь работы с крупными научными программами, темами

Научные исследования по теме диссертации проводились в рамках научно-исследовательских работ министерства образования Республики Беларусь по теме «Совершенствование технологии ремонта направляющих поверхностей станин станков для повышения их износостойкости» (2003 г.) № ГР 200032379.

Цель и задачи исследования

Целью работы является создание способа и инструмента и разработка эффективной технологии восстановления направляющих станин токарных станков нормальной точности, обеспечивающей снижение трудоемкости и повышение износостойкости направляющих импульсно-ударной пневмовибродинамической обработкой. Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Создание способа и разработка инструмента для пневмовибродинамической обработки плоских поверхностей с проведением теоретических исследований его технической эффективности по КПД и энергоемкости рабочего процесса.

2. Исследование влияния режимов пневмовибродинамической обработки на параметр шероховатости обработанных плоских поверхностей.

3. Исследование основных характеристик профиля рабочих поверхностей модельных образцов заготовок направляющих станин станков после пневмовибродинамической обработки.

4. Проведение триботехнических исследований модельных образцов заготовок направляющих станин станков.

5. Внедрение результатов исследований в производство.

6. Проведение натурных испытаний для подтверждения повышения износостойкости направляющих станин токарных станков, отремонтированных по разработанной технологии по сравнению с заводской технологией (сухое шлифование с последующим подшабриванием поверхности направляющей для обеспечения точности).

Объект и предмет исследования

Объектом исследований являются направляющие поверхности станин токарных станков нормальной точности, восстановленные по традиционной технологии (шлифование с последующим подшабриванием) и по усовершенствованной технологии ремонта с использованием тонкого фрезерования фрезой с эльборовыми вставками с последующей импульсно-ударной пневмовибродинамической обработкой. Предметом исследований является новая технология ремонта направляющих станин.

Методология и методы проведенного исследования

Проверка адекватности результатов моделирования осуществлялась на основе дисперсионного анализа, путем оценки систематической погрешности, вносимой моделью и случайной погрешности наблюдений.

Экспериментальные исследования разработанной технологии ремонта и ее технологических возможностей на базе накатника для пневмовибродинамической обработки проводили с использованием технологического оснащения в ремонтно-механическом цехе РУП завод «Могилевлифтмаш».

Обработка результатов полнофакторных экспериментов проводилась на основании методики выбора и оптимизации контролируемых параметров технологических процессов РДМУ 109-77 с помощью разработанной программы в среде Borland Delphi4. процесса ИУ ПВДО плоских поверхностей, получены уравнения регрессии, позволяющие производить выбор оптимальных режимов обработки.

Измерение параметра шероховатости Ra (в мкм) обработанных поверхностей модельных образцов заготовок проводили на профилометре 296 завода «Калибр» (г. Москва) лаборатории линейных и угловых измерений РУП завод «Могилевлифтмаш».

Исследования эксплуатационных свойств обработанных поверхностей модельных образцов заготовок определяли с использованием автоматизированной системы «Form TalySurf Series 2» фирмы Taylor Hobson на ГП «БЕЛАЗ», г. Жодино.

Триботехнические характеристики опытных образцов определяли по методикам, разработанным в ИМИНМАШ НАН Беларуси.

Научная новизна и значимость полученных результатов состоит в следующем:

1. На основе математических зависимостей, определяющих силу удара, диаметр отпечатка деформирующего элемента (шара) в поверхности (диаметр лунки), глубину упрочненного слоя, разработаны методики оценки технической эффективности инструментов для импульсно-ударной пневмовибродинамической обработки по коэффициенту полезного действия и энергоемкости рабочего процесса. Методики позволили разработать усовершенствованную конструкцию инструмента для импульсно-ударной пневмовибродинамической обработки плоских поверхностей, производительность которого по сравнению с инструментом прототипом повысилась в 1,5 раза, расход сжатого воздуха снизился в 2,5 раза, общий КПД составил 26%, что в 1,6 раза выше, чем у накатника-прототипа.

2. На основе исследований фазового состава, микротвердости поверхностных слоев модельных образцов заготовок направляющих станин станков (СЧ 20 ГОСТ 1412-85), установлено, что пневмовибродинамическая обработка приводит к увеличению микротвердости до 3800-4000 МПа, сопровождается измельчением частиц графита и цементита, а также приводит к увеличению плотности дислокаций в поверхностных слоях.

3. На основе проведенных исследований разработан способ восстановления направляющих станин станков, заключающийся в том, что после чистовой и тонкой лезвийной обработки осуществляют упрочняющую пневмовибродинамическую обработку. Получены положительные результаты натурных испытаний направляющих станин токарных станков мод. 16К20Ф3, восстановленных по новой технологии в условиях РУП завод «Могилевлифтмаш», показав-

шие повышение срока службы станков в 1,6 раза, снижение трудоемкости ремонта в 2 раза по сравнению с заводской технологией ремонта (сухим шлифованием с последующим подшабриванием поверхности).

Практическая и экономическая значимость полученных результатов.

Разработан способ и на его базе новая, эффективная и ресурсосберегающая технология восстановления направляющих станин станков, обеспечивающая снижение трудоемкости ремонта в 2 раза и увеличение износостойкости в 1,6 раза. Разработан простой и надежный инструмент, пригодный для использования в ремонтном производстве для упрочняющей пневмовибродинамической импульсно-ударной обработки направляющих поверхностей станин станков. Выполнена опытно-промышленная проверка и внедрение новой технологии ремонта с использованием упрочняющей пневмовибродинамической импульсно-ударной обработки направляющих станин станков на Республиканском унитарном предприятии завод «Могилевлифтмаш».

Данная технология за счет повышения износостойкости направляющих станин станков позволит машиностроительным заводам существенно повысить срок службы находящегося в эксплуатации металлорежущего оборудования, не прибегая к значительным финансовым затратам по приобретению нового, снизить затраты и трудоемкость ремонта и увеличить продолжительность межремонтного цикла. Экономический эффект от использования новой технологии составляет 2,4 млн. руб. (в ценах 2004 г.) из расчета 13 ремонтируемых станков в год.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

1. Методики оценки технической эффективности инструментов для импульсно-ударной пневмовибродинамической обработки по коэффициенту полезного действия и энергоемкости рабочего процесса.

2. Результаты исследований фазового состава, микротвердости поверхностных слоев модельных образцов заготовок направляющих станин станков (СЧ 20 ГОСТ 1412-85).

3. Способ восстановления направляющих станин станков, заключающийся в том, что после чистовой и тонкой лезвийной обработки осуществляют упрочняющую пневмовибродинамическую обработку.

Личный вклад соискателя.

Опубликованные по теме диссертации работы выполнены автором лично и в соавторстве. Научному руководителю принадлежит основная идея работы. Основными соавторами по опубликованным работам являются профессор Минаков А.П., инженер Ящук О.В., зав. лабораторией "Физическое материаловедение" Института механики и надежности машин (ИМИНМАШ) НАН Беларуси к. ф.-м. н. Кукареко В.А. В опубликованных работах автор осуществлял постановку задач, участвовал в теоретическим и экспериментальных исследованиях, в формулировке выводов по результатам диссертационной работы. Таким образом, автором лично разработана методика оценки технической эффективности инструментов для импульсно-ударной пневмовибродинамической обработки по энергоемкости рабочего процесса. Проведена экспериментальная

проверка полученных математических зависимостей для массового расхода сжатого воздуха, скорости вращения шаров-ударников, размера отпечатка (диаметра лунки), выполнена параметрическая оптимизация режимов процесса ИУ ПВДО направляющих станин станков.

В диссертации приведены ссылки на работы других авторов, используемые соискателем, и на собственные публикации. Результаты научных исследований, приведенные в диссертации, получены соискателем лично.

Апробация результатов диссертации.

Материалы диссертации докладывались и обсуждались на международных научно-технических конференциях: «Создание и применение высокоэффективных наукоемких ресурсосберегающих технологий, машин и комплексов» в Могилевском государственном техническом университете (2001 г.); «Прогрессивные технологии, машины и механизмы в машиностроении» в Калининградском государственном техническом университете (2002 г.); «Современные технологии, материалы, машины и оборудование» в Могилевском государственном техническом университете (2002 г.); «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» в Белорусско-Российском университете (Могилев, 2004 г.).

Опубликованность результатов. Результаты диссертации опубликованы в 3 статьях в научно-технических журналах, включенных в перечень изданий для опубликования результатов диссертационных исследований, 6 статьях в сборниках научных статей, 4 тезисах докладов на научно-технических конференциях и 2 патентах РБ, 2 свидетельствах на полезную модель РФ. Общее количество страниц опубликованного материала – 41.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 100 наименований, 5 приложений. Полный объем диссертации составляет 125 стр., в том числе содержит 118 страниц текста, 53 рисунков, 17 таблиц, объем приложений на 7 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цель и задачи исследования, сформулированы научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Приводятся положения, выносимые на защиту, и краткая аннотация работы.

В первой главе приведен обзор исследований, посвященных условиям эксплуатации и износу направляющих станин токарных станков. Рассмотрены существующие способы ремонта направляющих станин станков. С целью систематизации разнообразных способов ремонта направляющих станин станков, разработана их классификация.

Анализ рассмотренных способов ремонта направляющих станин станков позволяет сделать вывод о том, что в настоящее время не существует простой, надежной и эффективной технологии ремонта, которая позволяет существенно

повысить износостойкость направляющих станин станков в условиях ремонтной базы предприятия, не прибегая к серьезным материальным затратам.

Решением данной проблемы стала разработка новой технологии ремонта направляющих станин, включающая в себя одну операцию механической обработки, содержащую три технологических перехода, осуществляемые за один установ заготовки на продольно-строгальном или продольно-фрезерном станках:

1. Черновая лезвийная обработка однозубой фрезой «летучкой», оснащенной вставкой (ножом) из эльбора, устанавливаемой на валу шлифовальной головки продольно-строгального или на шпинделе продольно-фрезерного станка.

2. Тонкая лезвийная обработка упомянутой выше фрезой.

3. Упрочняющая импульсно-ударная пневмовибродинамическая обработка (ИУ ПВДО) пневматическим шариковым накатником, устанавливаемым в резцовой головке продольно-строгального или на шпинделе продольно-фрезерного станка.

Учитывая, что рекомендации по использованию тонкого эльборового фрезерования достаточно полно представлены в технической литературе, научный интерес представляют исследования эффективности импульсно-ударной пневмовибродинамической обработки в целях повышения износостойкости направляющих станин станков после ремонта.

Во второй главе приведены теоретические исследования упрочняющей импульсно-ударной пневмовибродинамической обработки плоских поверхностей.

В основе способа упрочняющей импульсно-ударной пневмовибродинамической обработки лежит механизм импульсного воздействия рабочих тел на обрабатываемую поверхность, имеющих многоосное вращение относительно собственного центра масс и перемещение в турбулентном кольцевом потоке сжатого воздуха, находящегося в состоянии адиабатического истечения при выходе из сопел камеры термодинамической системы. Разнонаправленное силовое воздействие рабочих тел на исходный микрорельеф способствует созданию благоприятных пластических сдвигов слоев металла и его деформационному упрочнению.

Инструмент, реализующий способ импульсно-ударной обработки плоской поверхности представлен на рис. 1.

Принцип работы инструмента состоит в следующем. Инструмент крепят, например, в резцедержателе продольно-строгального станка и подводят к обрабатываемой плоской поверхности. Под действием сжатого воздуха, подводимого от системы питания через осевой канал оправки 1 и тангенциальные сопла в стакане 6, приводящие 3 и деформирующие 4 элементы (шары) получают круговое вращение, совершая орбитальное вращение вокруг оси инструмента с определенными скоростями. Пластическое деформирование обрабатываемой поверхности происходит за счет того, что в зоне обработки приводящие элементы 3 наносят удары по деформирующим элементам 4, а те, в свою очередь, по поверхности заготовки. Вне зоны обработки контакт приводящих и дефор-

мирующих элементов исключен, т.к. линией расположения центров приводящих элементов является окружность, а линия расположения центров деформирующих элементов отлична от окружности.

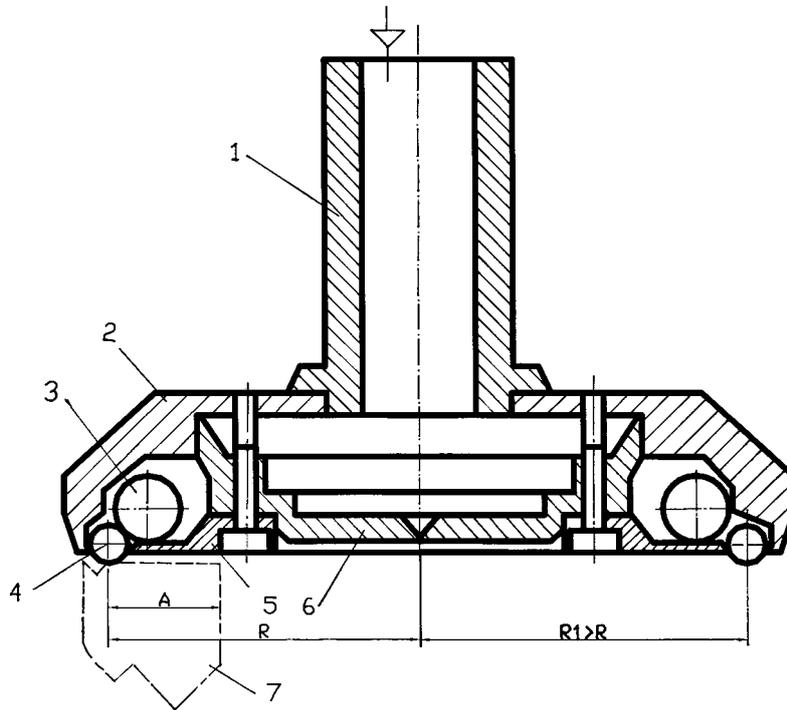


Рис. 1. Инструмент для пневмовибродинамической обработки плоских поверхностей (типа направляющих станин)

В результате импульсно-ударной обработки в зависимости от режимов обработки, аэродинамических характеристик подводящей пневмосистемы, конструктивных параметров инструмента образуется нерегулярный микрорельеф с сеткой лунок.

До настоящего времени в технической литературе отсутствуют сведения об оценке работоспособности инструментов для пневмовибродинамической обработки плоских поверхностей. В данной работе предлагаются научно обоснованные методики оценки технического уровня разрабатываемого инструмента по КПД и энергоемкости рабочего процесса.

Методика определения КПД инструмента и подводящей системы для пневмовибродинамической обработки плоских поверхностей, учитывающая их аэродинамические характеристики.

КПД пневмоинструмента принято определять по формуле

$$\eta_{ПИ} = \eta_{ПС} \cdot \eta_i, \quad (1)$$

где η_i - внутренний КПД пневмоинструмента;

$\eta_{ПС}$ - КПД подводящей системы, определяемая по уже известным зависимостям.

Значительные трудности представляет собой определение внутреннего КПД пневмоинструмента. Для его определения были приняты следующие допущения:

- 1) скорость движения шаров не зависит от их количества;
- 2) сила воздействия воздушного потока на любой из шаров одинакова и постоянна в любой точке траектории движения в кольцевой камере пневмоинструмента;
- 3) шары движутся вдоль кольцевой камеры с постоянной скоростью;
- 4) приводящие шары не контактируют между собой.

В результате теоретических исследований была разработана математическая модель внутреннего КПД инструмента импульсно-ударного действия, как для наружных, так и для внутренних поверхностей

$$\eta_i = \frac{0,392 \cdot C_x \cdot (0,569 + 5,807 \cdot 10^{-6} \cdot p_2) \cdot (316,94 \cdot \mu - v_{ui})^2 \cdot d_{ui}^2 \cdot v_{ui}}{158,97 \cdot M \cdot \mu} \quad (2)$$

где C_x - коэффициент лобового сопротивления шара-ударника;

p_2 - давление воздуха в камере расширения инструмента, Па;

μ - коэффициент расхода сопла;

v_{ui} - скорость шара-ударника, м/с;

$$v_{ui} = \frac{316,94 \cdot \mu}{1 + 72,34 \sqrt{\frac{d_{ui}^2 \cdot (f_1 + f_2)}{C_x \cdot (0,569 + 5,807 \cdot 10^{-6} \cdot p_2) \cdot R}}} \quad (3)$$

где R - радиус окружности расположения центров шаров-ударников в пневмоинструменте, м;

f_1 - коэффициент трения скольжения при трении приводящего шара по стальному корпусу пневмоинструмента;

f_2 - коэффициент сопротивления при контактировании приводящего шара с деформируемыми шарами (зависит от отношения длины участка контактирования к общей длине траектории движения центров приводящих шаров);

d_{ui} - диаметр шара-ударника, м;

M - массовый расход воздуха, кг/с.

$$M = 0,537 \cdot \mu \cdot d_c^2 \cdot z_c \cdot \sqrt{p_2 \cdot (0,569 + 5,807 \cdot 10^{-6} \cdot p_2)} \quad (4)$$

где d_c - диаметр сопел, м;

z_c - число сопел.

Для определения адекватности и значимости полученных математических моделей (2), (3) были проведены эксперименты для следующих условий: диаметры сопел 4,2 мм, сопла конические с коэффициентом расхода $\mu = 0,92$; число сопел варьировалось от 4 до 10, давление сжатого воздуха в камере расширения поддерживалось постоянным и составляло $p_2 = 245166$ Па.

Проверка адекватности результатов математической зависимости осуществлялась на основе дисперсионного анализа, путем оценки систематической погрешности, вносимой математической зависимостью и случайной по-

грешности наблюдений. Уровень значимости принимали равным $\alpha = 0,05$. В результате дисперсионного анализа были установлены значимость и адекватность моделей (3), (4).

Результаты теоретических и экспериментальных исследований массового расхода и скорости движения шаров-ударников приведены на рис.2, 3.

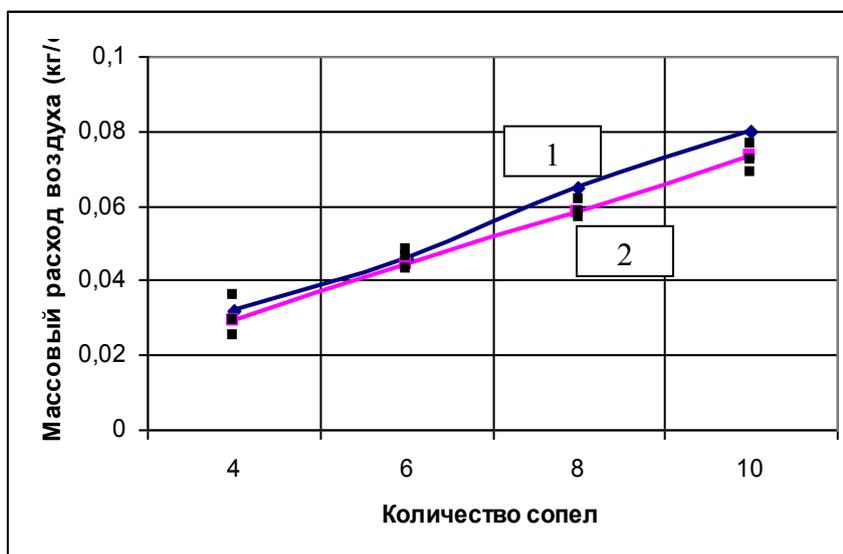


Рис. 2. Зависимости массового расхода сжатого воздуха от количества сопел: 1 – теоретическая, 2 - экспериментальная

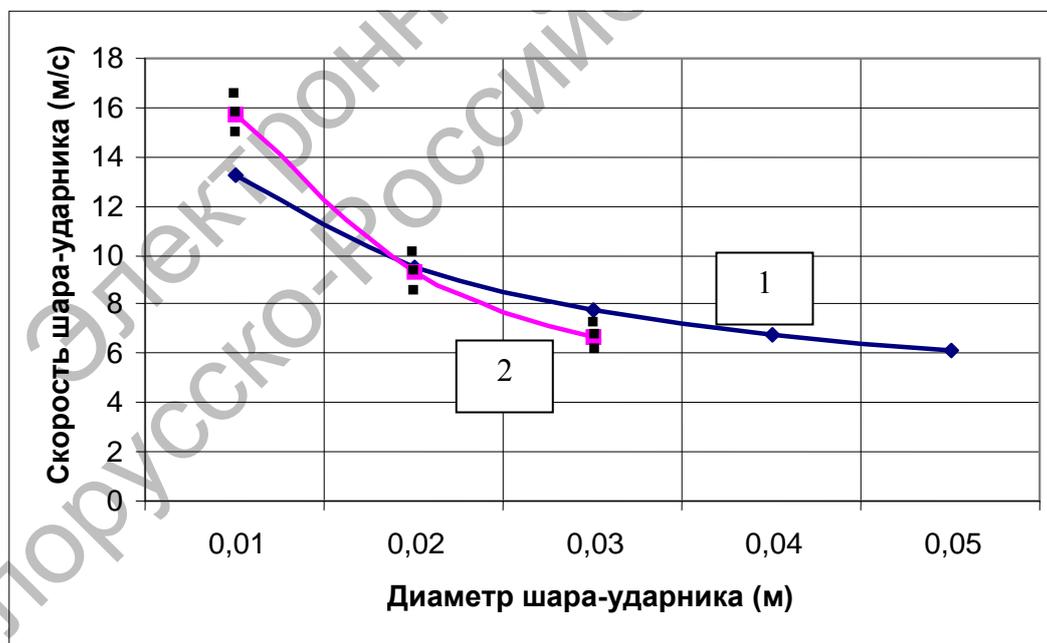


Рис.3. Зависимости скорости движения шаров-ударников от их диаметров: 1 – теоретическая, 2 - экспериментальная

Использование методики позволило разработать пневмонакатник, для которого КПД составил $\eta_i = 5,7\%$, что на 21% выше η_i инструмента-прототипа.

Методика оценки технической эффективности инструмента для пневмовибродинамической обработки плоских поверхностей по энергоемкости рабочего процесса, учитывающая его конструктивные параметры

Суть методики состоит в оценке энергоемкости процесса по формуле

$$P_{\text{тех.эф.}} = \frac{N_M}{P}, \quad (5)$$

где N_M – мощность пневмопривода, необходимая для работы инструмента, P – эксплуатационная производительность инструмента;

$$P = \frac{A^{\text{пол}}}{A^{\text{пол}} + A^{\text{вред}}} \cdot \frac{1}{T}, \quad (6)$$

где $A^{\text{пол}}$ – полезная работа, переходящая в энергию пластических (остаточных) деформаций;

$A^{\text{вред}}$ – работа сил трения шаров-ударников о стенки направляющего канала; T – время обработки поверхности.

Энергоемкость у лучшей модели должна быть минимальной, а производительность – максимальной.

Работу сил, переходящую в тепловую, звуковую энергии и энергию упругих деформаций, считаем одинаковой для всех конструкций инструментов и включаем как константу в работу полезных сил моделей.

Общая работа сил трения складывается из работы сил трения в рабочей и холостой зонах. Для определения которых был выполнен кинематический ана-

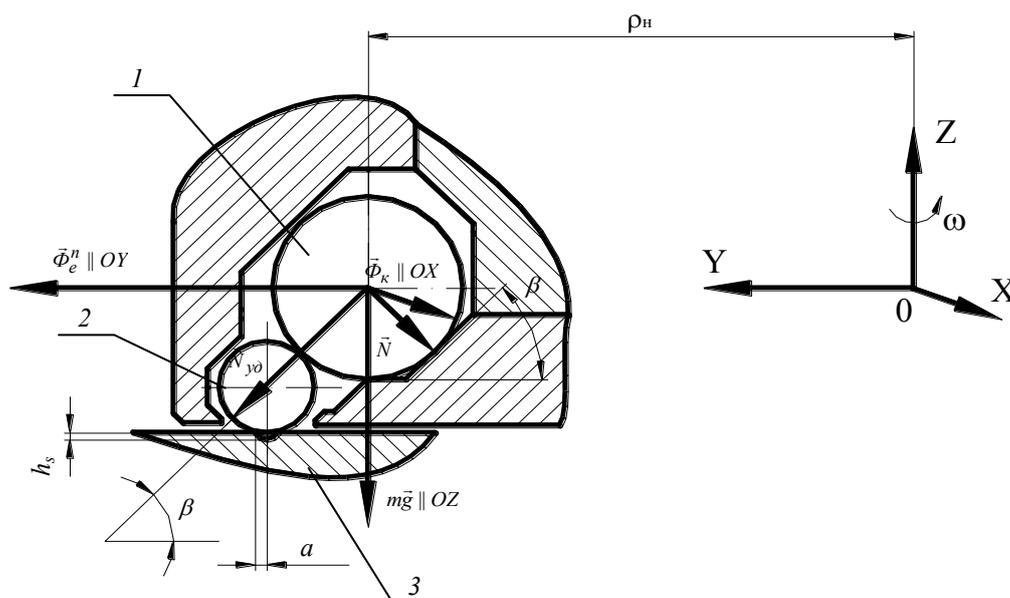


Рис. 4. Схематическое сечение кольцевого канала движения шаров в рабочей зоне инструмента: 1- шар-ударник; 2 – шар-боек; 3 – обрабатываемая поверхность

Работа сил трения в рабочей зоне

$$A_{mp.pab} = k \cdot m_{ш} \cdot n \cdot f \cdot \left| \rho \cdot \omega^2 \cdot \sin \beta - g \cdot \cos \beta \right| \sqrt{\frac{h^2}{\sin^2 \beta} + \frac{\pi^2 \cdot \rho^2}{n^2}}, \quad (8)$$

$m_{ш}$ – масса шара-ударника; g – ускорение свободного падения;

n – число циклов за один проход шара-ударника по направляющему каналу;

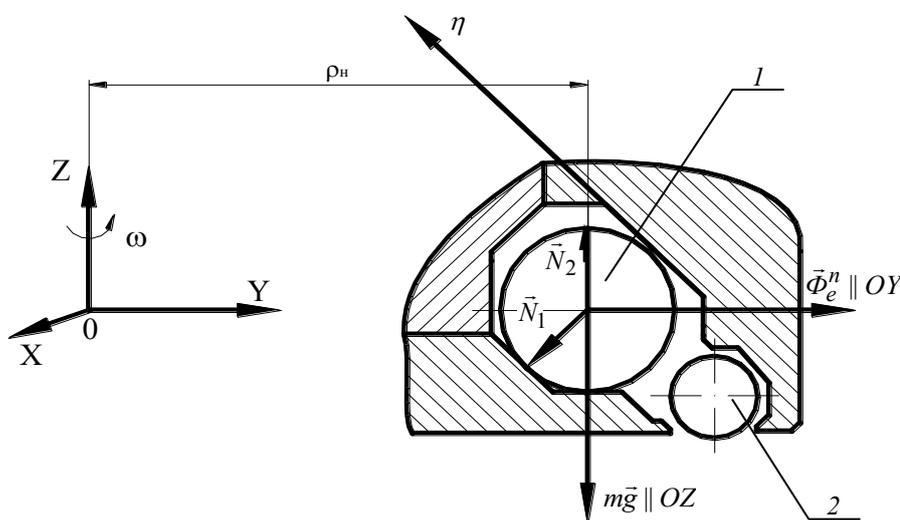
k – число шаров-ударников;

β – угол наклона образующей конического рабочего канала шаров-ударников с горизонтальной плоскостью;

ρ – радиус направляющей с учетом радиуса шара-ударника.

f – коэффициент трения скольжения шара-ударника о направляющую рабочего канала;

ЭНОЙ ОСИ СИМ-



1 – шар-ударник, 2 – шар-обок

Рис.5. Схематическое сечение кольцевого канала движения шаров в холостой зоне инструмента

Работа сил трения в холостой зоне

$$A_{mp.хол} = \frac{m_{ш} \cdot \pi \cdot \rho_n}{\sin \beta} \left[f_1 \cdot \rho_n \cdot \omega^2 + f_2 \cdot (g + \rho_n \cdot \omega^2 \cdot \cos \beta) \right] \cdot k. \quad (9)$$

где f_1 и f_2 – коэффициенты трения скольжения о боковую и нижнюю направляющие;

ρ_n – средний радиус переносного движения шара-ударника.

Полезная работа ударных сил вычисляется по формуле

$$A^{пол} = N_{y\partial} \cdot h_S \cdot k, \quad (10)$$

где $N_{y\partial}$ – сила удара шара по обрабатываемой поверхности;

$$N_{y\partial} = \frac{v_{ш}^2 \cdot m_{ш} \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta}{\left(2,943 \cdot \left(\frac{5}{4} \cdot m_{ш} \cdot \frac{3 \cdot (1 - \mu^2)}{2 \cdot E \cdot \sqrt{R_{\delta}}} \right)^{\frac{2}{5}} \cdot v_{ш}^{\frac{1}{5}} \right)}, \quad (11)$$

где R_{δ} - радиус шара-бойка;

h_s - средняя нормальная остаточная деформация обрабатываемой поверхности по глубине;

$$h_s = \sqrt{\frac{N_{y\partial}}{1,7 \cdot \sigma_B} - 1,42 \cdot a^2}, \quad (12)$$

k - число шаров-бойков в рабочем полукольце,

a - размер полуоси отпечатка (радиус лунки) (Динник А.Н. Избранные труды. - Киев: Изд-во АН УССР, 1952. - 174 с.);

$$a = R_{\delta} \cdot \sqrt[5]{\frac{5}{16} \cdot \pi \cdot q_1 \cdot q_2 \cdot \left(\frac{4 \cdot (1 - \mu_1^2)}{E_1} + \frac{4 \cdot (1 - \mu_2^2)}{E_2} \right)} \cdot v_{ш}^{\frac{2}{5}}. \quad (13)$$

Экспериментальная проверка зависимости (13) с использованием (3) для условий импульсно-ударной пневмовибродинамической обработки осуществлялась при следующих условиях: диаметры сопел 4,2 мм, сопла конические с коэффициентом расхода $\mu = 0,92$; число сопел 10, давление сжатого воздуха в камере расширения составляло $p_2 = 245166$ Па, диаметры шаров-бойков составляли 9,5 мм. Скорость движения шаров-ударников изменяли, используя шары диаметрами 10 мм, 20 мм, 30 мм. Подача, которую осуществлял стол станка, составляла 63 мм/мин, зазор между торцом инструмента и обрабатываемой поверхности составлял 0,5 мм.

Результаты и расчетные значения, определенные по формуле (13) представлены на рис.6.

Для экспериментальной проверки влияния диаметров шаров-ударников

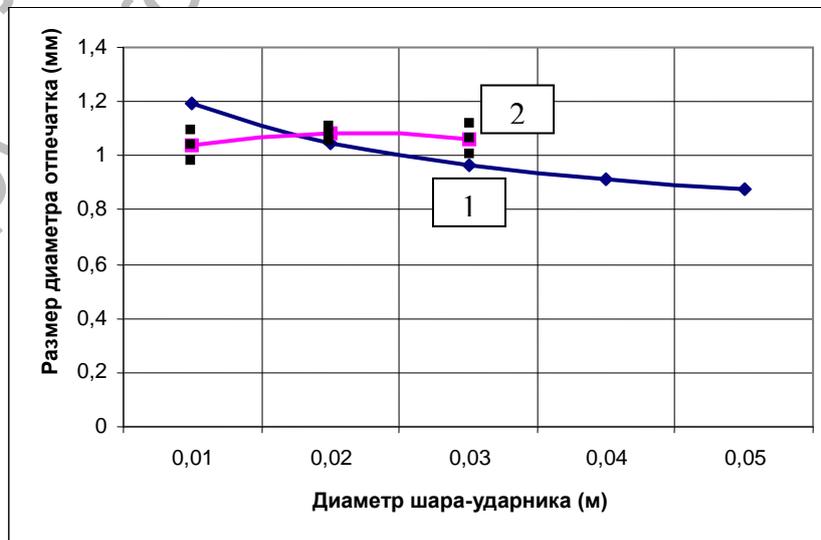


Рис. 6. Зависимости диаметра отпечатка (лунки) от диаметров шаров-ударников: 1 - теоретическая, 2 - экспериментальная

на глубину наклепанного слоя (12), которая является одним из значимых факторов, существенно влияющих на эффективность ППД, была проведена обработка модельных образцов из серого чугуна СЧ 20 ГОСТ 1412-85 тонким эльборовым фрезерованием с последующей пневмовибродинамической обработкой (диаметры шаров-ударников $D = 20$ мм, давление сжатого воздуха $P = 0,15$ МПа, подача $S = 63$ мм/мин). Действительные значения глубины наклепанного слоя определяли экспериментально методом «косых срезов». Микротвердость по Виккерсу (H_{μ}) измеряли на приборе ПМТ-3 с использованием стандартной четырехгранной пирамиды с квадратным основанием.

Зависимость распределения микротвердости по глубине поверхностного слоя для диаметров шаров-ударников равных 20 мм, определенная экспериментально, представлена на рис. 7. Погрешность вычисленных по формуле (12) значений глубины наклепанного слоя не превышает 10% от экспериментальных величин.

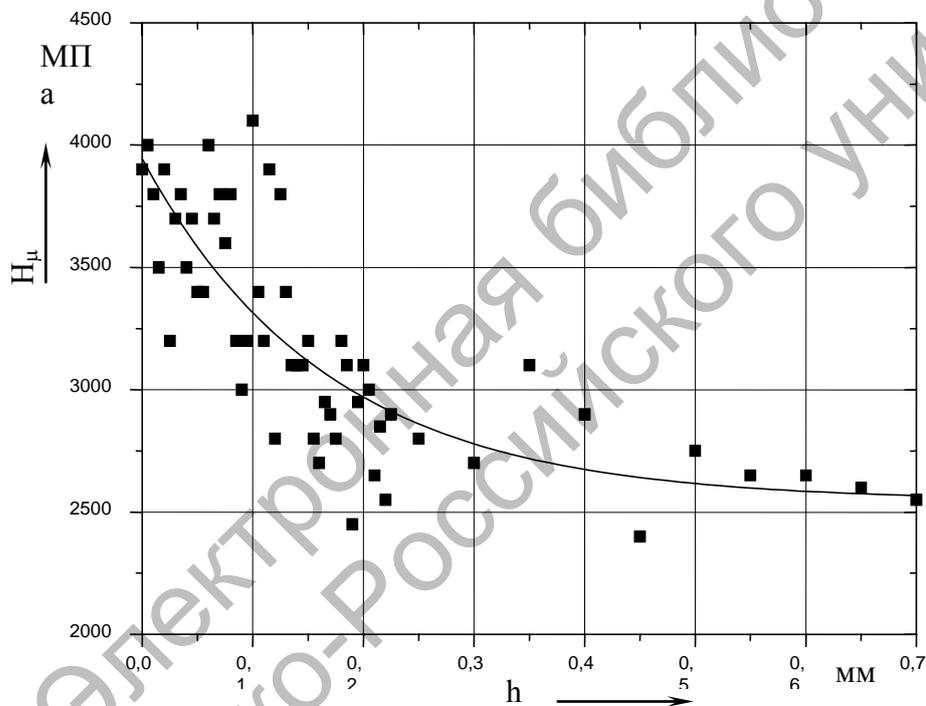


Рис. 7. Зависимость распределения микротвердости по глубине поверхностного слоя образца после тонкого эльборового фрезерования с последующей пневмовибродинамической обработкой

Рассмотрим методику на примере накатника- прототипа, в котором из-за несовершенства конструкции шары-ударники бьют по шарам-бойкам и в холодной зоне. Количество шаров-ударников равно 16; диаметр шара-ударника 20 мм, диаметр шара-бойка 9,5 мм. Время обработки поверхности принимаем равной 1 мин.

В результате вычислений были получены следующие значения: $N_m = 3401 \text{ Вт}$; $v_u = 9,545 \text{ м/с}$; $A_{\text{раб}}^{mp} = 19,525 \text{ Дж}$; $A_{\text{хол}}^{mp} = 19,525 \text{ Дж}$; $A_{\text{пол}} = 20,95 \text{ Дж}$; $P_{\text{мех.эф.}} = 9717 \text{ Вт}$.

Подставив полученные значения в (6) установим, что

$$\Pi = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{пол}} + A_{\text{mp}}} \cdot \frac{1}{T} = \frac{20,95}{20,95 + 19,525 + 19,525} \cdot \frac{1}{1} = 0,35$$

Данное значение можно считать КПД инструмента, определенного с учетом конструктивных особенностей инструмента, учитывающие кинематические и динамические параметры процесса. Если перемножить КПД, учитывающий только аэродинамические параметры накатника с полученным КПД по формуле (2), то можно определить общий КПД накатника, т.е. $\eta = 0,047 \cdot 0,35 = 0,016 \approx 16 \%$.

Использование методики позволило внести изменения в конструкцию пневмонакатника, исключив контакт шаров-ударников с шарами-бойками в холостой зоне [14-17], что позволило повысить общий КПД инструмента до 26 % (1,6 раза) по сравнению с инструментом-прототипом

Третья глава посвящена оценке технологических возможностей ИУ ПВДО. Разработанные математические модели пневмовибродинамической обработки показывают, что на шероховатость обработанных поверхностей наибольшее влияние оказывает давление сжатого воздуха в осевой полости инструмента. Подача влияет лишь на плотность распределения лунок по поверхности.

По результатам проведенных исследований были получены оптимальные режимы пневмовибродинамической обработки: давление сжатого воздуха в осевой полости инструмента $P = 0,15 \text{ МПа}$, подача $s = 80 \text{ мм/мин}$, зазор между торцом инструмента и обрабатываемой поверхностью для горизонтальных поверхностей $h = 0,6 \text{ мм}$, для наклонных (под углом 45°) – $h = 0,4 \text{ мм}$. В результате обработки на обработанной поверхности образуется новый микрорельеф с шероховатостью $Ra \leq 1,25 \text{ мкм}$ в виде сетки микролунок, являющихся одновременно «микроподшипниками» (при наличии жидкой смазки) и ловушками, ограничивающими миграцию продуктов износа и их разрушительное действие на поверхности трения новый микрорельеф.

Проведенный сравнительный анализ профилограмм обработанных поверхностей (рис.8) показывает преимущество поверхности после пневмовибродинамической обработки с точки зрения эксплуатационных свойств при граничном трении по сравнению с поверхностями после шлифования.

В четвертой главе для подтверждения эффективности новой технологии ремонта с использованием пневмовибродинамической обработки были проведены триботехнические испытания модельных образцов заготовок направляющих станин в условиях ИМИНМАША НАН Беларуси.

Установлено, что сухое шлифование образцов из серого чугуна приводит к перезакалке тонких поверхностных слоев и образованию в них остаточного

аустенита, шлифовочных трещин, что приводит к возникновению усталостных трещин, нарушению целостности поверхности и интенсивному износу.

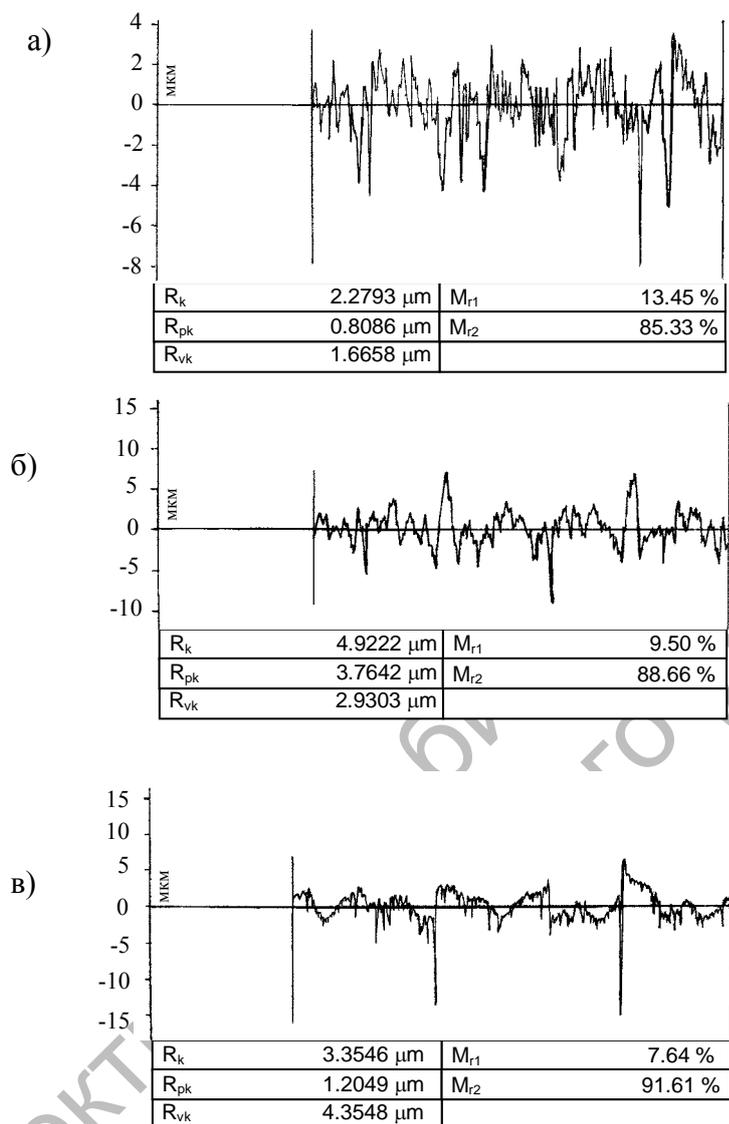


Рисунок 8 - Профилограммы и параметры R_{vk} , R_{pk} , R_k поверхностей, обработанных различными способами: а – «мокрым» шлифованием; б – сухим шлифованием; в – сухим шлифованием с последующей пневмовибродинамической обработкой

Показано, что пневмовибродинамическая обработка образцов из серого чугуна приводит к увеличению их микротвердости до 3800-4000 МПа, сопровождается измельчением частиц цементита и графита, а также приводит к увеличению плотности дислокаций в поверхностных слоях, «залечивает» микротрещины, присутствующие на поверхности после операций резания (шлифования, тонкой лезвийной обработки), что влияет на повышение износостойкости направляющих станин станков.

Триботехнические исследования показали повышенную стойкость к задиру рабочей поверхности, обработанной по новой технологии в отличие от поверхности после сухого шлифования.

В пятой главе приведены основные технико-экономические показатели технологии ремонта направляющих станин токарных станков с использованием лезвийной и упрочняющей обработки. Приведены результаты натурных испытаний на износ направляющих станин станков в условиях РУП завод «Могилевлифтмаш». Внедрение новой технологии ремонта направляющих позволяет повысить срок службы станка в 1,6 раза. Трудоемкость новой технологии ремонта снижена по сравнению с заводской \approx в 2 раза. Из технологического процесса ремонта исключается шабрение. Экономический эффект от использования новой технологии составляет 2,4 млн. руб. (в ценах 2004 г.) из расчета 13 ремонтируемых станков в год. Срок окупаемости капитальных затрат, необходимых для внедрения новой технологии составляет 3 года и 10 месяцев.

В приложении приведены копии актов контрольных испытаний, внедрения новой технологии ремонта на РУП «Завод «Могилевлифтмаш», результаты натурных испытаний на износ направляющих станин станков в условиях РУП «Завод «Могилевлифтмаш», копии документов, подтверждающих экономический эффект от внедрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили получить новые результаты и сделать следующие выводы:

1. Создан способ и разработана упрочняющая технология восстановления направляющих станин станков, заключающийся в том, что после чистовой и тонкой лезвийной обработки осуществляют упрочняющую импульсно-ударную пневмовибродинамическую обработку, реализованную новым инструментом – накатником, позволивший повысить срок службы станка в 1,6 раза. Трудоемкость технологии ремонта снижена по сравнению с традиционно применяемой в 2 раза [1-3, 8, 12].

2. Установлена зависимость влияния конструктивных параметров инструмента на особенности пластического деформирования поверхности, позволившая разработать способ и усовершенствованную конструкцию накатника для импульсно-ударной пневмовибродинамической обработки плоских поверхностей [14-17], производительность которого по сравнению с инструментом-прототипом повысилась в 1,5 раза, расход сжатого воздуха снизился в 2,5 раза, общий КПД составил 26%, что в 1,6 раза выше, чем у накатника-прототипа. Показано на основе разработанных методик оценки эффективности накатников для импульсно-ударной пневмовибродинамической обработки плоских поверхностей по КПД и энергоемкости рабочего процесса, что КПД накатника близок к традиционно применяемым пневмовинструментам, и в сравнении с надежностью электроинструментов им не уступает [6, 9, 10, 11].

3. Исследованы технологические возможности нового способа упрочняющей обработки направляющих из чугуна СЧ20 ГОСТ 1412-85. Установлено,

что при давлении сжатого воздуха в осевой полости инструмента $P = 0,15$ МПа, подаче $s = 80$ мм/мин достигается шероховатость поверхности $Ra \leq 1,25$ мкм, точность направляющих соответствует нормативами, приведенными в ГОСТ 18097-93 [8].

4. Показана предпочтительность новой технологии при формировании эксплуатационных свойств поверхности в сравнении с поверхностями, обработанными сухим шлифованием. Триботехническими исследованиями установлено, что тонкое эльборовое фрезерование с последующей пневмовибродинамической обработкой сопровождается измельчением частиц цементита и графита, а также приводит к увеличению плотности дислокаций в поверхностных слоях, что свидетельствует об упрочнении поверхностного слоя; обеспечивает повышение износостойкости направляющих станин станков: в сравнении с мокрым шлифованием в 1,5 раза, с тонким фрезерованием – в 2 раза [4, 5, 13].

5. Технология восстановления направляющих внедрена на РУП завод «Могилевлифтмаш». Срок окупаемости капитальных затрат, необходимых для внедрения при ремонте 13 станков токарной группы в год составляет 3 года и 10 месяцев. Годовой экономический эффект от внедрения составил 2,4 млн. руб. (в ценах 2004 г.) [7].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Минаков А.П. Современные способы ремонта направляющих станин станков /А.П. Минаков, И.Д. Камчицкая // Сб. науч. тр. чл. Междунар. Балтийской ассоц. машиностр. – Калининград: КГТУ, 2001. – №1.– С. 62-68.

2. Минаков А.П. Основные параметры качества поверхности по DIN 4776 и их влияние на её эксплуатационные свойства / А.П. Минаков, И.Д. Камчицкая, С.А. Жигунов // Сб. науч. тр. чл. Междунар. Балтийской ассоц. машиностр. – Калининград: КГТУ, 2001. – №1.– С. 26-28.

3. Минаков А.П. Повышение эксплуатационных свойств пар трения импульсно-ударной пневмовибродинамической обработкой (ПВДО) / А.П. Минаков, И.Д. Камчицкая// Перспективные технологии, материалы и системы: Сб. науч. тр.– Могилев: МГТУ, 2003.- С. 206-209.

4. Минаков А.П. Динамика трансформации технологических поверхностных слоев контактирующих поверхностей в процессе трения / А.П. Минаков, И.Д. Камчицкая // Сб. науч. тр. чл. Междунар. Балтийской ассоц. машиностр. – Калининград: КГТУ, 2003. – №3.– С. 71-72.

5. Камчицкая И.Д. Влияние различных способов обработки на структуру поверхностного слоя образцов рабочих поверхностей направляющих станин станков / И.Д. Камчицкая // Вестник МГТУ, № 1 (6), 2004 г. - С. 55-59.

6. Минаков А.П. Методика определения КПД инструмента и подводящей системы для импульсно-ударной пневмовибродинамической обработки (ИУ ПВДО) плоских поверхностей / А.П. Минаков, О.В. Ящук, И.Д. Камчицкая// Перспективные технологии, материалы и системы: Сб. науч. тр.– Могилев: МГТУ, 2005.- С. 224-229.

7. Камчицкая И.Д. Техничко-экономическая эффективность новой технологии ремонта направляющих станин токарных станков / И.Д. Камчицкая // Сб. науч. тр. чл. Междунар. Балтийской ассоц. машиностр. – Калининград: КГТУ, 2005. – №3. – С. 28-30.

8. Камчицкая И.Д. Влияние упрочняющей импульсно-ударной пневмовибродинамической обработки на эксплуатационные свойства рабочих поверхностей направляющих станин станков / И.Д. Камчицкая // Вестник МГТУ, № 1(10), 2006 г. - С. 82-86.

9. Минаков А.П. Методика оценки технической эффективности инструмента для пневмовибродинамической обработки плоских поверхностей по энергоемкости рабочего процесса / А.П. Минаков, И.Д. Камчицкая // Вестник МГТУ, № 1(10), 2006 г. - С. 177-182.

10. Минаков А.П. Инструмент для упрочняющей обработки плоских поверхностей / А.П. Минаков, И.Д. Камчицкая // Создание и применение высокоэффективных наукоемких ресурсосберегающих технологий, машин и комплексов: Мат. междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: МГТУ, 2001. – С.64 – 65.

11. Камчицкая И.Д. Определение механической эффективности инструмента для пневмовибродинамической импульсно-ударной упрочняющей обработки плоских поверхностей / И.Д. Камчицкая // Современные технологии, материалы, машины и оборудование: Мат. междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: МГТУ, 2002. – С. 67.

12. Минаков А.П. Совершенствование технологии ремонта направляющих станин станков / А.П. Минаков, И.Д. Камчицкая // Прогрессивные технологии, машины и механизмы: Мат. междунар. науч.-техн. конф. – Калининград: КГТУ, 2002. – С. 10-11.

13. Кукареко В.А. Исследование триботехнических характеристик контактирующих поверхностей пар трения после различных способов финишной обработки / В.А. Кукареко, И.Д. Камчицкая // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Мат. междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорусско-Российский университет, 2004. – С. 56-57.

14. Патент Республики Беларусь № 482, заявка № u 20010213, МПК В 24В 39/06. Инструмент для пневмовибродинамической обработки / Минаков А.П., Ящук О.В., Камчицкая И.Д.; Заявл. 16.08.2001.; Опубл. 30.03.2002.

15. Свидетельство на полезную модель Российской Федерации № 28460, заявка № 2002106892, МПК В 24В 39/06. Инструмент для пневмовибродинамической обработки плоских поверхностей / Минаков А.П., Ящук О.В., Камчицкая И.Д.; Заявл. 18.03.2002; Опубл. 27.03.2003.

16. Свидетельство на полезную модель Российской Федерации № 36788, заявка № 2003134747, МПК В 24В 39/06. Инструмент для пневмовибродинамической обработки плоских поверхностей / Минаков А.П., Ящук О.В., Камчицкая И.Д.; Заявл. 01.12.2003; Опубл. 27.03.2004.

17. Патент Республики Беларусь № 1373, заявка № u20030412, МПК В 24В 39/06. Инструмент для пневмовибродинамической обработки плоских поверхностей/ Минаков А.П., Ящук О.В., Камчицкая И.Д.; Заявл. 23.09.2003.; Опубл. 30.06.2004.

РЕЗЮМЕ

Камчицкая Ирина Дмитриевна

Упрочняющая технология восстановления направляющих станин станков на основе лезвийной и пневмовибродинамической обработки

Ключевые слова: направляющие станины станка, износостойкость, упрочнение, импульсно-ударная пневмовибродинамическая обработка.

Объект исследований: направляющие станин токарных станков нормальной точности.

Цель работы: разработка эффективной технологии восстановления направляющих станин токарных станков нормальной точности, обеспечивающей снижение трудоемкости и повышение износостойкости направляющих импульсно-ударной пневмовибродинамической обработкой.

При проведении исследований использовались методы математического моделирования ударного процесса с использованием ЭВМ, методы корреляционного и регрессионного анализа.

На основе математических зависимостей, определяющих силу удара, глубину упрочненного слоя, разработаны методики оценки технической эффективности инструментов для импульсно-ударной пневмовибродинамической обработки по коэффициенту полезного действия и энергоемкости рабочего процесса.

На основе исследований фазового состава, микротвердости поверхностных слоев модельных образцов заготовок направляющих станин станков (СЧ 20 ГОСТ 1412-85), установлено, что ИУ ПВДО приводит к увеличению микротвердости, сопровождается измельчением частиц графита и цементита, а также приводит к увеличению плотности дислокаций в поверхностных слоях.

Разработан способ восстановления направляющих станин станков, заключающийся в том, что после чистовой и тонкой лезвийной обработки осуществляют упрочняющую пневмовибродинамическую обработку. Получены положительные результаты натурных испытаний направляющих станин токарных станков мод. 16К20Ф3, восстановленных по новой технологии в условиях РУП завод «Могилевлифтмаш», показавшие повышение срока службы станков в 1,6 раза, снижение трудоемкости ремонта в 2 раза по сравнению с заводской технологией ремонта (сухим шлифованием с последующим подшабриванием поверхности).

РЭЗЮМЕ

Камчыцкая Ірына Дзмітрыеуна

Умацоўваючая тэхналогія аднаўлення накіравальных станін станкоў на аснове рэжучай і пнеўмовібрадынамічнай апрацоўкі

Ключавыя словы: накіравальныя станіны станка, зносастойкасць, умацоўванне, імпульсна-ударная пнеўмовібрадынамічная апрацоўка.

Объект исследований: накіравальныя станін такарных станкоў нармальнай дакладнасці.

Мэта работы: распрацоўка эфектыўнай тэхналогіі аднаўлення накіравальных станін такарных станкоў нармальнай дакладнасці, з забеспячэннем паняжэння працаёмістасці і павялічвання зносастойкасці накіравальных імпульсна-ударнай пнеўмовібрадынамічнай апрацоўкай.

Пры правядзенні даследванняў выкарыстоўваліся метады матэматычнага мадэліравання ударнага працэса з выкарыстоўваннем ЭВМ, метады карэляцыйнага і рэгрэсійнага аналіза.

На падставе матэматычных залежнасцей, вызначаючых сілу удара, глыбіню умацоўванага слоя, распрацаваны метадыкі ацэнкі тэхнічнай эфектыўнасці інструментаў для імпульсна-ударнай пнеўмовібрадынамічнай апрацоўкі па каэфіцыенту палезнага дзеяння і энергаёмістасці рабочага працэса.

На падставе даследаванняў фазавага складу, мікрацвёрдасці павярхоўных слаёў мадэльных абразцоў заготовак накіравальных станін станкоў (СЧ 20 ДАСТ 1412-85), высветлена, што імпульсна-ударная пнеўмовібрадынамічная апрацоўка павялічвае мікрацвёрдасць, суправаджаецца драбленнем частак графіта і цеменціта, вядзе к павелічэнню плотнасці діслакацый у павярхоўных сляях.

Распрацаваны спосаб аднаўлення накіравальных станін станкоў, які заключаецца ў тым, што пасля чыставаго і тонкага фрэзеравання фрэзой з эльборавай устаўкай, ажыццяўляюць умацоўваючую пнеўмовібрадынамічную апрацоўку. Атрыманы здавальняючыя вынікі натуральных іспытаў накіравальных станін такарных станкоў мад. 16К20Ф3, аднаўлённых па новай тэхналогіі на РУП завод «Магілёўліфтмаш», якія сведчаць аб павелічэнні тэрміна службы станкоў у 1,6 раза, паняжэнні працаёмістасці рамонта ў 2 раза у параўнанні з заводскай тэхналогіяй рамонта (сухім шліфаваннем з шабрэннем).

RESUME

Kamchytskaya Iryna Dmitrievna

Hardening technology of the machine-tool bed ways repair on the base of milling and pneumovibrodynamic working

Key words: the machine-tool bed ways, wear resistance, hardening, impulse-impact pneumovibrodynamic working.

Research object: the lathe bed ways of normal accuracy.

The aim of work: The effective technology of the machine-tool bed ways repair, ensuring decrease of time for processing and increase wear resistance ways impulse-impact pneumovibrodynamic working was created.

At realization of researches the methods of mathematical modeling of shock process with use of the computer, methods correlation and of the regression analysis were used.

On the basis of mathematical dependences determining force of impact, depth of strain strengthening layer surface, the techniques of an estimation of technical efficiency of tools for impulse-impact pneumovibrodynamic working on efficiency and power consumption of working process are developed.

On the basis of researches of phase structure, micro-hardness of surface layers of modelling samples of preparations the machine-tool bed ways (grey cast iron СЧ 20 GOST 1412-85), is established, that impulse-impact pneumovibrodynamic working results in increase of micro-hardness, is accompanied by crushing of particles of graphite and cementit, and also results in increase of density dislocations in surface layers.

The mean of the machine-tool bed ways repair concluding is developed that after fair and thin milling carry out hardening impulse-impact pneumovibrodynamic working. The positive results of tests of the machine-tool bed ways of model 16K20Φ3, restored on new technology in conditions RUP "Mogilevliftmash", shown increase of service life of machine tools in 1,6 times, decrease of time for repair processing in 2 times in comparison with factory technology of repair (dry grinding with subsequent scraping of a surface).

КАМЧИЦКАЯ Ирина Дмитриевна

УПРОЧНЯЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАПРАВЛЯЮЩИХ
СТАНИН СТАНКОВ НА ОСНОВЕ ЛЕЗВИЙНОЙ И ПНЕВМОВИБРОДИНА-
МИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

05.02.08 - Технология машиностроения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать трафаретная.
Усл.печ.л. 1,4. Уч.-изд.л. 1,54. Тираж 75 экз. Заказ № _____

Издатель и полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет»
Лицензия ЛВ № 02330/375 от 29.06.2004 г.
212005, г. Могилев, пр. Мира, 43