

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

УДК 621.787.4

ИЛЬЮШИНА
ЕЛЕНА ВАЛЕРЬЕВНА

**СУПЕРФИНИШНАЯ ПНЕВМОЦЕНТРОБЕЖНАЯ ОБРАБОТКА
ГИЛЬЗ ГИДРОЦИЛИНДРОВ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.02.08
«Технология машиностроения»

Могилев, 2009

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

Научный руководитель: **Минаков Анатолий Петрович**,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология машиностроения» ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев

Официальные оппоненты: **Спиридонов Николай Васильевич**,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология машиностроения» «Белорусский национальный технический университет», г. Минск
Довгалев Александр Михайлович,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструмент» ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев

Оппонирующая организация: ГНУ «Физико-технический институт НАН» Республики Беларусь, г. Минск

Защита состоится «18» декабря 2009 г. в 14⁰⁰ на заседании Совета по защите диссертаций К 02.18.01 в Государственном учреждении высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет» по адресу: 212000, г. Могилев, пр-т Мира, 43, корп. 1, ауд. 323, тел. (8-0222) 22-52-12.

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

Автореферат разослан «___» _____ 2009 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
доктор физ.-мат. наук, профессор

В.И. Борисов

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день гидроцилиндры, выпускаемые предприятиями Беларуси и стран СНГ, по качеству ниже европейского уровня, что является одной из проблем машиностроения. Иностранные предприятия освоили выпуск высококачественных комплектующих для гидроцилиндров и импортируют их на рынки стран СНГ и Беларуси. Эта ситуация ставит нашу республику в импортную зависимость от зарубежных поставщиков, что противоречит экономическому развитию и реализации государственной программы импортозамещения.

Увеличение ресурса работы гидроцилиндра связано с повышением износостойкости пары трения гильза – поршневое кольцо за счет улучшения качества рабочей поверхности гильзы. В настоящее время подавляющее большинство заводов изготавливают гильзы из нетермообработанных заготовок с шероховатостью рабочей поверхности $Ra = 0,16 \dots 0,32$ мкм. Некоторые предприятия, например БелАЗ, обеспечивают шероховатость рабочей поверхности гильз $Ra = 0,16$ мкм, используя при этом зарубежное оборудование и выполняя термоулучшение перед операциями мехобработки с целью улучшения обрабатываемости и механических свойств поверхности, однако это связано с дополнительными энергозатратами на обработку. Для решения проблемы повышения качества рабочей поверхности гильзы был создан способ обработки внутренней поверхности заготовок на основе суперфинишной пневмоцентробежной обработки (ПЦО), обеспечивающий шероховатость поверхности $Ra < 0,1$ мкм на поверхности отверстий нетермообработанных гильз.

Поэтому данная работа посвящена изучению и исследованию кинематики, динамики, аэродинамики и технологических возможностей суперфинишной ПЦО, разработке модели управления процессом, что позволило получить высокие эксплуатационные характеристики рабочей поверхности гильз гидроцилиндра, приблизив их по качеству к европейским производителям.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами. Тема диссертации соответствует следующим приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2006 – 2010 годы (Перечень утвержден постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 17.05.2005 г. № 512):

- машиноведение; механика, надежность и безопасность машин и технических систем; трение и износ в машинах; теория проектирования, мехатронные системы машин и механизмов;

- физика, химия и механика поверхности; механика адаптивных материалов и конструкций, управление структурой и свойствами поверхности, в том числе на наноструктурном уровне.

Проведенные исследования соответствуют Государственной Программе импортозамещения на 2006 – 2010 годы (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 24.03.2006 г. № 402), целью которой является снижение зависимости республики от импорта товаров (работ, услуг) за счет удовлетворения внутреннего спроса высококачественной продукцией собственного производства. При этом научные разработки и диссертационные исследования относятся к основным направлениям импортозамещения в машиностроении (производство автомобильной, карьерной, дорожной техники, автобусов, комбайнов, тракторов, сельскохозяйственной техники).

Проведенные исследования по тематике диссертации соответствуют приоритетным направлениям научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2006 – 2010 годы «Ресурсосберегающие и энергоэффективные технологии производства конкурентоспособной продукции» (Указ Президента Республики Беларусь от 6.07.2005 г. № 315); основным направлениям государственных научно-технических программ «Машиностроение» (Создание и освоение производства в республике новых поколений конкурентоспособной автотракторной, сельскохозяйственной и специальной техники на базе новых и высоких технологий) и «Технологии и оборудование машиностроения» (Создание, освоение и внедрение в производство в республике новых образцов конкурентоспособного станочного, литейного, оптико-электронного и другого технологического оборудования и новых технологических процессов для организаций машиностроения с применением новых и высоких технологий), согласно Постановления Совета Министров Республики Беларусь от 4.01.2006 г. № 5. Проводимые исследования также соответствуют основным положениям Директивы Президента Республики Беларусь от 14.06.2007 г. № 3 «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства».

Научные исследования по теме диссертации проводились в соответствии с планом НИР Белорусско-Российского университета ГБ - 0619 «Создание интеллектуальных систем с активными связями для управления качеством изделий в машиностроении» по теме «Совершенствование технологии и инструментов для суперфинишной ПЦО гильз гидроцилиндров»; ГБ – 0613 «Улучшение качества изготовления гильз гидроцилиндров и плоских поверхностей способом пневмовибродинамической обработки», а также по договору № ХД-0232 от 20.03.2002 г. «Создание, разработка, исследование и внедрение процесса и инструментов для финишной пневмовибродинамической (ПВДО) внутренней цилиндрической поверхности тонкостенного цилиндра диаметром 100 мм» (РПУП Могилев-

ский завод «СТРОММАШИНА» – ГУВПО «Белорусско-Российский университет»).

Цель и задачи исследования. *Целью работы* является создание и разработка способа обработки поверхностей отверстий гильз гидроцилиндров, обеспечивающего улучшение качества рабочей поверхности суперфинишной пневмоцентробежной обработкой.

Для достижения цели в работе были поставлены и решены следующие задачи:

- разработать способ обработки внутренних поверхностей вращения заготовок из сталей без термообработки, позволяющий уменьшить шероховатость обработанной поверхности до $Ra < 0,1$ мкм, за счет применения на окончательной операции суперфинишной ПЦО;

- разработать модель процесса суперфинишной ПЦО, раскрыв физическую сущность процесса с позиции кинематических, динамических и аэродинамических характеристик;

- разработать методику управления качеством обработанной поверхности в процессе суперфинишной ПЦО;

- исследовать технологические возможности суперфинишной ПЦО внутренних цилиндрических поверхностей;

- исследовать эксплуатационные свойства поверхности после суперфинишной ПЦО;

- внедрить результаты исследований в производство при обработке поверхностей отверстий гильз гидроцилиндров.

Объектом исследований является суперфинишная ПЦО. *Предмет* исследований – внутренняя цилиндрическая поверхность гильз гидроцилиндров. Выбор объекта и предмета исследования обусловлен приоритетными направлениями научных исследований в Республике Беларусь.

Положения, выносимые на защиту

1. Способ обработки внутренних цилиндрических поверхностей стальных нетермообработанных заготовок, состоящий из операций размерной лезвийной обработки, ППД жёсткими рабочими элементами и суперфинишной ПЦО шарами, поверхность которых имеет шероховатость $Ra \leq 0,08$ мкм, позволяющий получать шероховатость обработанной поверхности $Ra < 0,1$ мкм.

2. Математическая модель формирования микрорельефа обработанной поверхности в процессе суперфинишной ПЦО, установившая зависимость центробежной силы инерции, развиваемой шарами, от аэродинамических параметров процесса: относительной скорости и плотности воздушного потока, скорости шаров в инструменте, величины миделевого сечения и коэффициента лобового сопротивления шара в докритическом режиме истечения сжатого воздуха при попутном вращении заготовки и шаров в режиме автоколебаний.

3. Методика управления процессом суперфинишной обработки, заключающаяся в определении и последующем получении в процессе суперфинишной ПЦО необходимой частоты вращения шаров в инструменте при различных конструктивных параметрах инструмента и диаметрах обрабатываемого отверстия гильзы, позволяющая легко находить необходимые режимы обработки.

4. Результаты исследования влияния режимов процесса суперфинишной ПЦО и конструктивных параметров инструмента на шероховатость рабочей поверхности гильз, полученные после обработки, показавшие, что наибольшее влияние на шероховатость обработанной поверхности оказывает давление сжатого воздуха, подводимое к инструменту, и исходная шероховатость поверхности, которая должна составлять $Ra_{исх} = 0,11 \dots 0,16$ мкм.

5. Результаты исследования качества обработанной поверхности отверстий после суперфинишной ПЦО, показавшие увеличение ресурса работы пары трения и несущей способности поверхности после суперфинишной ПЦО, обусловленные уменьшением тангенса угла наклона кривой Аббота к оси, а также повышение износостойкости поверхности и уменьшение времени приработки контактирующих поверхностей трения, в сравнении с поверхностью, обработанной ППД, в соответствии с параметрами стандарта DIN 4776.

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 А.П. Минаков, О.В. Ящук. В опубликованных работах автор осуществлял постановку задач, участвовал в теоретическом и экспериментальных исследованиях. Таким образом, автор лично принимал участие в получении всех научных результатов, представленных в диссертации. Являясь ответственным исполнителем, автор участвовал в выполнении НИР по теме диссертации.

Апробация результатов диссертации. Основные положения работы были представлены в Белорусско-Российском университете на республиканских научно-технических конференциях «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» (Могилев, 2004, 2006, 2008 г.г.), на международных научно-технических конференциях «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (Могилев, 2004, 2008, 2009 г.г.), «Прогрессивные технологии, технологические процессы и оборудование» (Могилев, 2003 г.), «Прогрессивные технологии, машины и механизмы в машиностроении» в Калининградском государственном техническом университете (2004, 2008 г.г.).

Опубликованность результатов диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в 18 научных работах, в том числе в 5 статьях, 3 из которых включены в перечень научных изданий ВАК Республики Беларусь, 8 материалах и тезисах докладов научных конференций, 3 патентах на полезную

модель, 1 патенте на изобретение Республики Беларусь и 1 патенте на изобретение Российской Федерации.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Полный объем диссертации составляет 156 страниц из них 59 рисунков, 11 таблиц, список использованных источников в количестве 125, включая 18 авторских работ, и 8 приложений на 26 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении и общей характеристике работы обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цель и задачи исследования, изложены основные положения диссертации, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена обзору и анализу литературных данных по теме диссертации. Показано, что самое большое число отказов силовых гидроцилиндров связано с износом уплотнений в подвижных соединениях, таких как поршневое кольцо – гильза гидроцилиндра.

Большой вклад в описание процесса трения и износа металлополимерных пар внесли белорусские и российские ученые Гаркунов Д.Н., Шпеньков Г.П., Белый В.А., Богданович Н.Н., Мышкин Н.К., Петроковец М.И., Свириденко А.И. и другие. Данным вопросом занимается группа ученых в Институте механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Б (г. Гомель). Анализ работ этих специалистов показал, что решение проблемы повышения надежности пары трения гильза цилиндра – поршневое кольцо видится как за счет использования качественных уплотнительных элементов, так и качественной обработки внутренней поверхности самой гильзы до шероховатости $Ra < 0,1$ мкм.

В настоящее время в отечественном машиностроении в зависимости от технологии изготавливают гильзы с шероховатостью внутренней поверхности от $Ra = 0,16$ до $Ra = 0,32$ мкм.

Анализ способов финишной обработки поверхностей отверстий таблица 1 показывает, что достижение шероховатости $Ra < 0,1$ мкм сопряжено с большой трудоемкостью изготовления гильз, шаржированием их поверхности (способы финишной обработки абразивным инструментом), что неприемлемо для практики реально действующего производства и эксплуатации.

Поэтому актуальным является создание нового способа обработки внутренних поверхностей вращения заготовок из сталей без термообработки, включающего суперфинишную ПЦО, позволяющую снижать шероховатость упрочненной поверхности до $Ra < 0,1$ мкм.

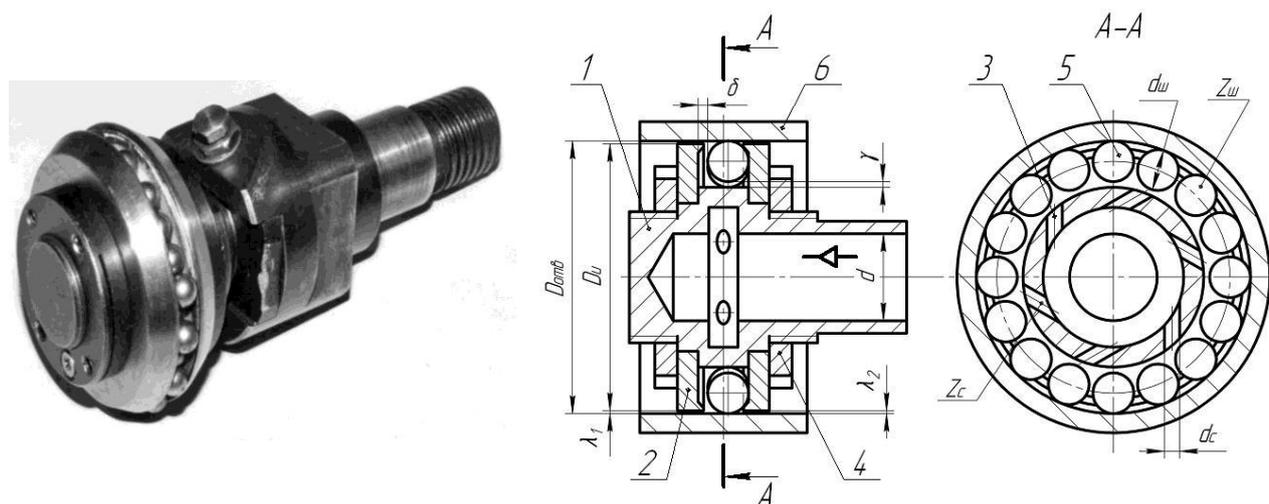
Таблица 1.1 – Традиционные способы финишной обработки внутренних цилиндрических поверхностей стальных заготовок

	Способ обработки	Исходная шероховатость Ra, мкм	Шероховатость после обработки Ra, мкм	Глубина деформированного поверхностного слоя, мкм	Улучшающиеся эксплуатационные свойства	Область применения
Финишная обработка абразивным инструментом	Хонингование Черновое Чистовое Тонкое	6,3 – 3,2 3,2 – 1,25 1,25 – 0,25	3,2 – 1,25 1,25 – 0,25 0,25 – 0,04	3 – 5	Маслоемкость	Для отверстий d > 30 мм неограниченной длины
	Полирование	0,32 – 0,08	0,16 – 0,02	3 – 5	Увеличивается несущая способность поверхности	Для отверстий длиной до 160 мм
	Доводочно-притирочная обработка Грубая Чистовая Тонкая	1,25 – 0,32 0,32 – 0,16 0,16 – 0,08	0,32 – 0,16 0,16 – 0,08 0,04 – 0,01	3 – 7	Маслоемкость	Для отверстий 20 < d < 380 мм длиной до 220 мм
	Суперфиниширование Обычное Тонкое Двукратное	1,25 – 0,63 0,63 – 0,32 0,32 – 0,16	0,32 – 0,08 0,16 – 0,04 0,08 – 0,02	7 – 10	Увеличивается несущая способность поверхности	-
Отделочно-упрочняющая обработка ШПД	Раскатывание роликами или шариками	6,3 – 1,6	0,63 – 0,16	2000 – 5000	Износостойкость, герметичность	Для отверстий d > 20 мм неограниченной длины
	Безабразивная ультра-звуковая финишная обработка (БУФО)	6,3	0,1	50 - 300	Износостойкость	Для отверстий d = 5 - 10 мм длиной l=25 мм; d=10 - 25 мм l=50 мм; d=25 - 50 мм l=250 мм; d = 50 - 75 мм l = 500 мм; d > 400 мм l = 6000 мм
	Упрочняющая пневмо-центробежная обработка	0,63 – 0,32	0,16	20 - 200	Маслоемкость, износостойкость	Для отверстий d > 15 мм неограниченной длины

Во второй главе описана сущность способа обработки внутренних поверхностей вращения заготовок из сталей без термообработки, изложены теоретические исследования кинематики, динамики и аэродинамики суперфинишной ПЦО, позволившие разработать модель смятия микронеровностей и методику управления процессом.

Впервые разработанный новый способ обработки внутренних цилиндрических поверхностей стальных нетермообработанных заготовок, состоящий из операций размерной лезвийной обработки, ППД жёсткими рабочими элементами и суперфинишной ПЦО шарами, поверхность которых имеет шероховатость $Ra \leq 0,08$ мкм, позволяет получать шероховатость обработанной поверхности $Ra < 0,1$ мкм, что превосходит традиционную технологию накатывания поверхности жестким деформирующим элементом. Способ рекомендуется для обработки жестких и нежестких заготовок.

Для реализации способа, включающего суперфинишную ПЦО предложены модельный образец и конструктивная схема инструмента (рисунок 1).



1 – корпус; 2 – диск; 3 – сопла; 4 – гайка; 5 – шар; 6 – заготовка

Рисунок 1 – Внешний вид модельного образца и конструктивная схема инструмента для суперфинишной ПЦО

Кинематика движения рабочих элементов в инструменте при суперфинишной ПЦО существенно не отличается от уже описанной ранее при упрочняющей ПЦО в работах акад., проф. Ящерицына П.И. и проф. Минакова А.П. Отличие заключается в том, что при суперфинишной ПЦО используется низкое давление сжатого воздуха, позволяющее снижать микронеровности поверхности при оптимальной линейной скорости рабочих элементов и их массе.

Предложена физическая модель формирования микрорельефа обработанной поверхности в процессе суперфинишной ПЦО. Впервые установлена зависимость центробежной силы инерции (1), развиваемой шарами, от аэродинами-

ческих параметров процесса: относительной скорости и плотности воздушного потока, скорости шаров в инструменте, величины миделевого сечения шара и коэффициента лобового сопротивления шара в докритическом режиме истечения сжатого воздуха при попутном вращении заготовки и шаров в режиме автоколебаний

$$F_{ц} = \frac{2mf(V_{ш} - V_3)^2}{D_{отв} - d_{ш}} = \frac{C\rho(v_{в.п.} - V_{ш} + V_3)^2 S}{2} - ma_1 k^2, \quad (1)$$

где m – масса шара, кг;

f – коэффициент трения скольжения;

$V_{ш}$ – скорость перемещения шара, м/с;

V_3 – скорость заготовки в процессе обработки, м/с;

$D_{отв}$ – диаметр обрабатываемого отверстия заготовки, м;

$d_{ш}$ – диаметр шара в инструменте, м;

C – коэффициент лобового сопротивления шара;

ρ – плотность воздуха в потоке, воздействующем на шар;

$v_{в.п.}$ – скорость воздушного потока, м/с;

S – величина миделевого сечения шара, м²;

a_1 – амплитуда колебательного движения шара;

k – круговая частота колебаний шара.

Рассмотрены основные аэродинамические характеристики процесса суперфинишной ПЦО: техническая работа вращения шаров, скорость истечения, массовый и объемный расход воздуха. Их анализ показал, что суперфинишная ПЦО производится в докритическом режиме истечения сжатого воздуха, при этом оптимальный перепад давлений составляет $\beta = 0,55$. Это, согласно исследованиям в области газодинамики и аэродинамики (Альтшуль, Горлин и т.д.), позволяет при меньшем расходе обеспечить полный переход энергии давления воздуха в кинетическую энергию струи, в отличие от критического режима, где часть энергии безвозвратно теряется на образование завихрений.

Проведенные стробоскопические исследования позволили определить оптимальную линейную скорость шаров в процессе суперфинишной ПЦО, которая составила $V_{ш} = 11,172$ м/с. Это позволило разработать методику управления качеством процесса суперфинишной обработки, связывающую скорость и направление вращения шаров и заготовки с конструктивными параметрами инструмента и режимами процесса (2). Методика позволяет легко находить необходимые режимы суперфинишной ПЦО отверстий разного диаметра.

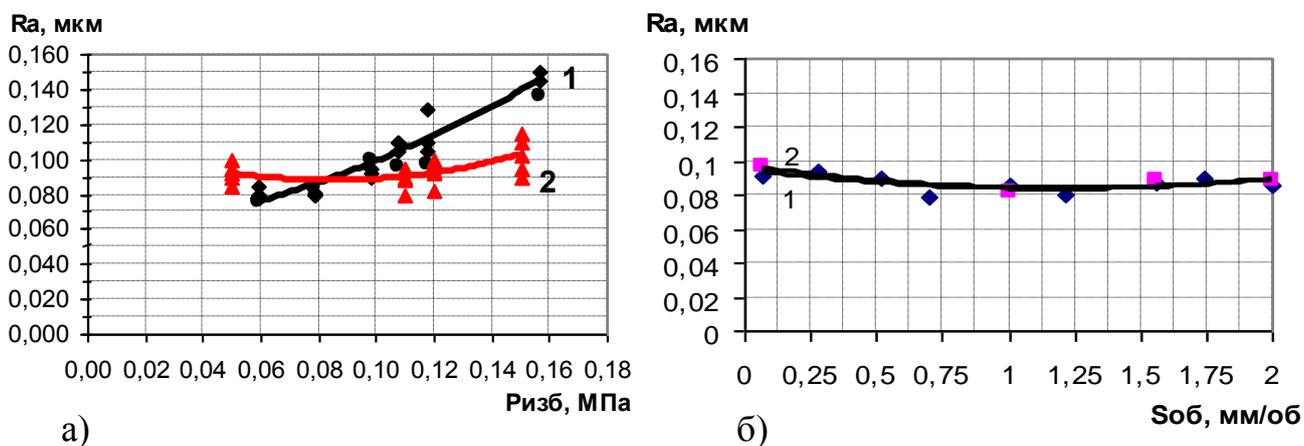
$$\nu = \frac{V_{отн.ш}}{2\pi R} = \frac{V_{ш} - V_3}{\pi(D_{отв} - d_{ш})} = \frac{V_{ш} - \pi D_3 n}{\pi(D_{отв} - d_{ш})}, \quad (2)$$

где ν – частота вращения шаров, с⁻¹;

D_3 – диаметр заготовки, м;
 n – частота вращения заготовки, мин^{-1} ;
 R – радиус беговой дорожки шара, м.

В третьей главе представлены исследования технологических возможностей суперфинишной ПЦО без вращения и с вращением заготовки при различных значениях исходной шероховатости поверхности по параметру Ra.

Стабильные результаты обработки ($Ra < 0,1$ мкм) поверхностей отверстий гильз при суперфинишной ПЦО на токарно-винторезном станке мод. 1К62 с вращением заготовки получены при исходной шероховатости $Ra = 0,16 \dots 0,11$ мкм. Результат достигается при использовании шаров с шероховатостью $Ra < 0,08$ мкм с уменьшением давления сжатого воздуха, подводимого к инструменту (рисунок 2).



а) 1 – ($z_c - 6$ шт.; $S_{мин} = 7$ мм/мин); 2 – ($z_c - 4$ шт.; $S_{мин} = 150$ мм/мин);
 б) 1 – ($n = 125$ мин^{-1} ; $P = 0,08$ МПа); 2 – ($n = 125$ мин^{-1} ; $P = 0,06$ МПа)

Рисунок 2 – Графики зависимости шероховатости обработанной поверхности от давления сжатого воздуха и подачи инструмента при вращении заготовки

Обработка заготовок с исходной шероховатостью $Ra = 0,25 \dots 0,16$ мкм не позволяет уменьшить ее ниже 0,1 мкм, для решения этой проблемы предложен способ обработки, состоящий из упрочняющей пневмоцентробежной обработки шарами, поверхность которых имеет шероховатость $Ra = 0,1$ мкм, а затем суперфинишной ПЦО шарами с шероховатостью $Ra \leq 0,04$ мкм.

Исследования технологических возможностей суперфинишной ПЦО при неподвижной заготовке с исходной шероховатостью $Ra = 0,16 \dots 0,11$ мкм проведены на радиально-сверлильном станке. Они показали, что характер зависимостей шероховатости обработанной поверхности от давления сжатого воздуха и подачи инструмента (рисунок 3) аналогичны зависимостям, полученным при обработке с вращением заготовки. Использование суперфинишной ПЦО без вращения заготовки позволит снизить энергозатраты на обработку, которые в

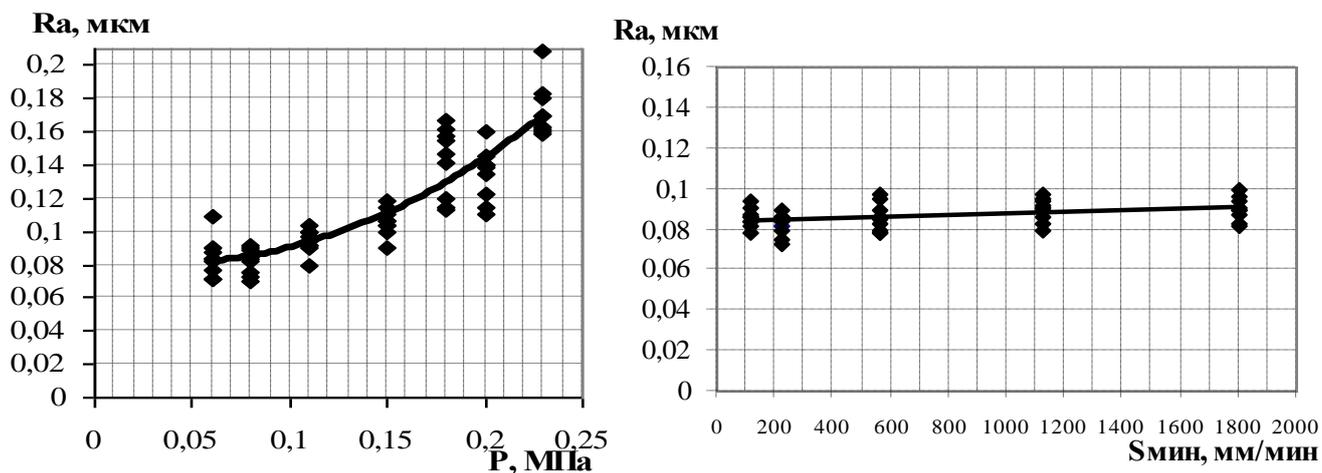


Рисунок 3 – Графики зависимости шероховатости обработанной поверхности от давления сжатого воздуха и подачи инструмента при неподвижной заготовке

сравнении с хонингованием отверстий гильз для получения шероховатости поверхности по параметру $Ra = 0,065 \dots 0,08$ мкм уменьшатся в 10 – 17 раз, что соответствует и превосходит лучшие европейские уровни.

Используя полный факторный эксперимент, разработана статистическая модель суперфинишной ПЦО, позволившая установить, что наибольшее влияние на шероховатость обработанной поверхности оказывает минимальное давление сжатого воздуха, подводимое к инструменту, исходная шероховатость поверхности, которая должна составлять $Ra_{исх} = 0,11 \dots 0,16$ мкм, незначительно скорость вращения обрабатываемой заготовки при отсутствии влияния подачи инструмента.

Получены режимы суперфинишной ПЦО: наибольшая производительность процесса достигается на токарном станке с вращением заготовки на режимах $n = 2000$ мин⁻¹, $S_{мин} = 2000$ мм/мин, $P = 0,08$ МПа и на радиально-сверлильном станке без вращения заготовки на режимах $S_{мин} = 1800$ мм/мин, $P = 0,08$ МПа (шероховатость обработанной поверхности $Ra = 0,08 \dots 0,09$ мкм); наилучший результат по качеству обработки ($Ra = 0,065 \dots 0,08$ мкм) достигается на токарном станке с вращением заготовки на режимах $n = 125$ мин⁻¹, $S_{мин} = 250$ мм/мин, $P = 0,08$ МПа.

В четвертой главе представлены исследования эксплуатационных свойств поверхности после суперфинишной ПЦО в сравнении с поверхностями, обработанными ППД жестким роликом (традиционная технология обработки гильз на многих отечественных предприятиях) и хонингованием (итальянская технология фирмы «Contarini Leopoldo S.R.L.»).

Исследования проведены на профилометре-профилографе мод. «Form TalySurf Series 2» фирмы «Taylor Hobson» (центральная измерительная лаборато-

рия ПО «БелАЗ», г. Жодино), в соответствии с методикой, изложенной в стандарте DIN 4776 (Германия).

На основе проведенного сравнительного анализа профилограмм трех вариантов окончательной обработки отверстий (рисунок 4) установлено, что рабочая поверхность гильзы гидроцилиндра, обработанная суперфинишной ПЦО превосходит по эксплуатационным свойствам гильзы, обработанные раскатыванием роликом.

Параметр R_{pk} (ограниченная высота пиков) поверхности гильз после суперфинишной ПЦО в 3 раза меньше, а параметр $A1$, определяющий объем острых пиков в мм^3 на см^2 поверхности, в 7 раз меньше, в сравнении с поверхностью, обработанной жестким роликовым раскатником, что характеризует уменьшение времени приработки контактирующих поверхностей трения. Ресурс работы гидроцилиндра с гильзой, рабочая поверхность которой окончательно обработана суперфинишной ПЦО, увеличивается за счет увеличения несущей способности поверхности, характеризуемой уменьшением тангенса угла наклона кривой Аббота к оси и соответственно параметром R_k , который уменьшается в сравнении с гильзой, обработанной ППД ($R_k = 0,303$ мкм), и составляет 0,246 мкм. Параметр $R_{pk} + R_k$ для поверхности после суперфинишной ПЦО в 1,5 раза выше в сравнении с поверхностью после ППД жестким роликовым раскатником, что указывает на повышение износостойкости.

Установлено, что гильзы, упрочненная рабочая поверхность которых обработана суперфинишной ПЦО, не уступают по прирабатываемости, несущей способности и износостойкости хонингованным гильзам итальянского производства (таблица 2), а по маслосъемности – в 4 раза ее превосходят. Маслосъемность поверхности после суперфинишной ПЦО при малой шероховатости увеличивается за счет создания шарами при ударах сетки микролунок, служащих резервуарами для смазки, и рассчитывается по формуле:

$$Q = \frac{R_{vk}}{20} \left(1 - \frac{M_{r2}}{100 \%} \right), \quad (3)$$

где R_{vk} – ограниченная глубина впадин;

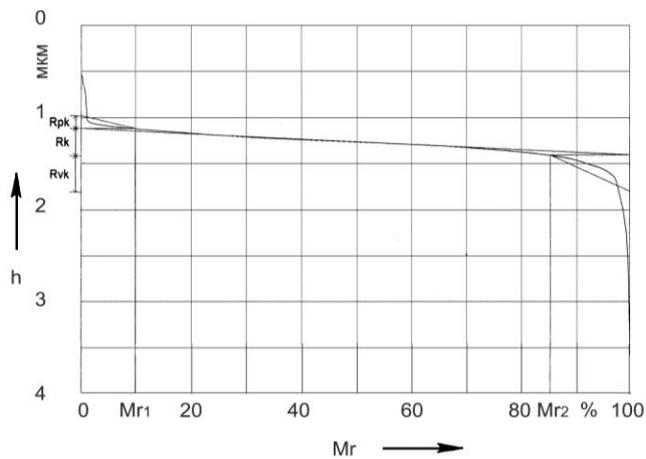
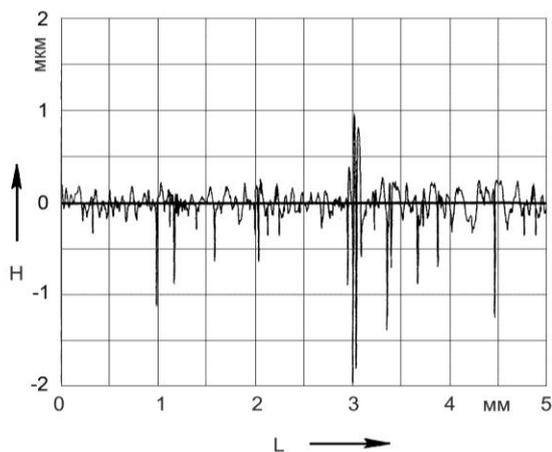
M_{r2} – материальная составляющая, которая отделяет впадины от основного микрорельефа.

Численные значения маслосъемности для поверхностей составляют: после суперфинишной ПЦО $Q = 0,0020 \text{ мм}^3/\text{см}^2$, после раскатывания $Q = 0,0029 \text{ мм}^3/\text{см}^2$, после хонингования по итальянской технологии $Q = 0,0005 \text{ мм}^3/\text{см}^2$.

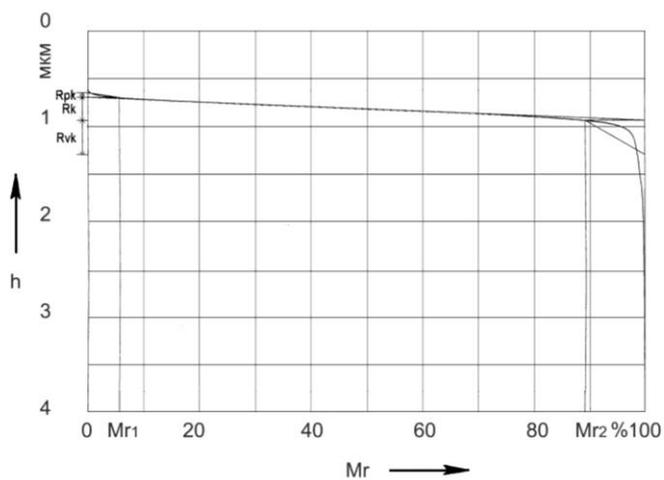
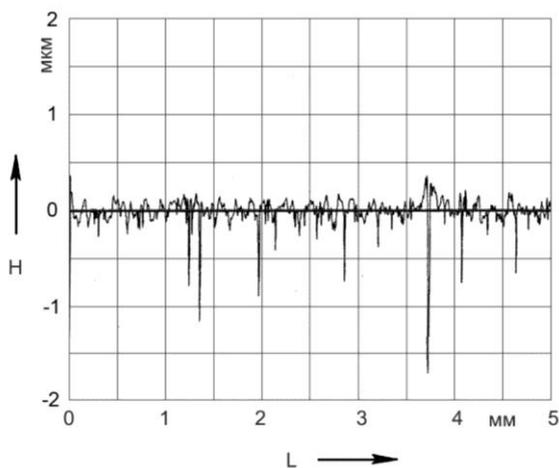
Проведенные исследования показывают преимущества суперфинишной ПЦО для обработки упрочненной рабочей поверхности нетермообработанных гильз гидроцилиндров отечественного производства, так как улучшаются эксплуа-

тационные свойства поверхности, не прибегая к дорогостоящей технологии обработки.

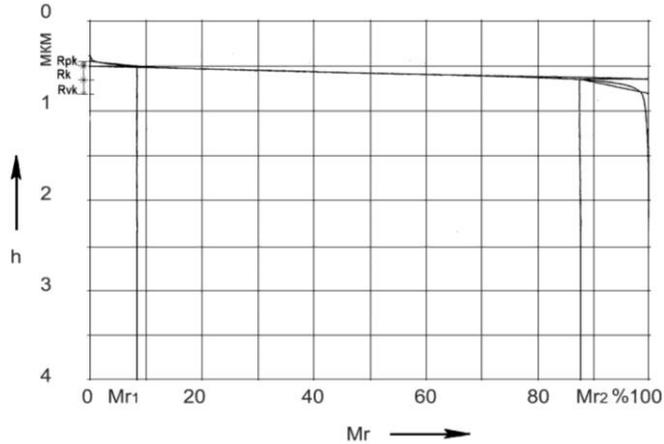
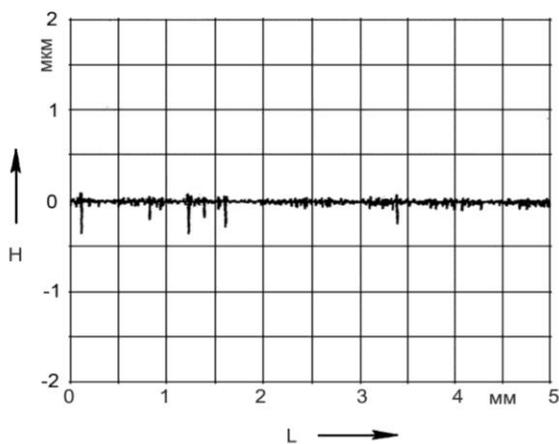
а)



б)



в)



а) раскатывание жестким роликом; б) – ППД с последующей суперфинишной ПЦО;
в) – хонингование

Рисунок 4 – Профилограммы рабочих поверхностей гильз гидроцилиндров, окончательно обработанных различными способами

Таблица 2 – Значения параметров шероховатости обработанных рабочих поверхностей гильз по DIN 4776

Значение параметров шероховатости по DIN 4776	Способ окончательной обработки рабочей поверхности гильзы			Эксплуатационные свойства, на которые оказывает влияние параметр шероховатости
	ППД жестким роликом	ППД с последующей суперфинишной ПЦО	Итальянская хонингованная гильза	
R_a , мкм	0,11	0,08	0,02	Износостойкость
R_{pk} , мкм	0,137	0,046	0,024	Приработка
R_k , мкм	0,303	0,246	0,073	Несущая способность
$R_{pk} + R_k$, мкм	0,440	0,292	0,097	Износостойкость
AI , мм ³ /см ²	0,0007	0,0001	0,0001	Приработка
R_{vk} , мкм	0,4014	0,3663	0,0712	Маслоемкость

В пятой главе приведен расчет технико-экономического эффекта от внедрения в производство способа обработки гильз гидроцилиндров с применением суперфинишной ПЦО на РПУП Могилевский завод «СТРОММАШИНА», полученный на основании экономии расходов на изготовление гильз гидроцилиндров, идущих на запчасти. Экономический эффект составил 28 530 972 руб. (в ценах 2008 г.). Срок окупаемости капитальных затрат 6 месяцев и 9 дней.

Дальнейшее развитие способа обработки гильз гидроцилиндров видится за счет разработки инструмента для совмещенной обработки поверхности отверстия ППД и суперфинишной ПЦО. Это позволит увеличить производительность обработки по новой технологии в 2 – 2,5 раза, сократить трудоемкость, достигая при этом необходимое качество поверхности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Создан способ обработки внутренних цилиндрических поверхностей стальных заготовок, состоящий из операций размерной лезвийной обработки, ППД жесткими рабочими элементами и суперфинишной ПЦО шарами, поверхность которых имеет шероховатость $R_a \leq 0,08$ мкм и разработана конструкция инструмента для его реализации, что позволяет получать шероховатость обработанной поверхности $R_a < 0,1$ мкм, это превосходит традиционную технологию накатывания поверхности жесткими деформирующими элементами и исключает термообработку [3, 11, 18].

2. Предложена математическая модель формирования микрорельефа обработанной поверхности в процессе суперфинишной ПЦО, установившая зависимость центробежной силы инерции, развиваемой шарами, от аэродинамиче-

ских параметров процесса: относительной скорости и плотности воздушного потока, скорости шаров в инструменте, величины миделевого сечения и коэффициента лобового сопротивления шара в докритическом режиме истечения сжатого воздуха при попутном вращении заготовки и шаров в режиме автоколебаний [9].

3. Разработана методика управления процессом суперфинишной обработки, связывающая скорость, направление вращения шаров и заготовки с конструктивными параметрами инструмента и режимами процесса [9].

4. Разработана статистическая модель суперфинишной ПЦО, позволившая установить, что наибольшее влияние на шероховатость обработанной поверхности гильз оказывает давление сжатого воздуха, подводимое к инструменту, исходная шероховатость поверхности, которая должна составлять $Ra_{исх} = 0,11 \dots 0,16$ мкм [1, 6, 10].

5. Определены режимы суперфинишной ПЦО: наибольшая производительность ($S_{мин} = 1800 \dots 2000$ мм/мин) процесса достигается при горизонтальной схеме расположения инструмента с вращением обрабатываемой заготовки и при вертикальной схеме расположения при неподвижной заготовке (шероховатость обработанной поверхности $Ra = 0,08 \dots 0,09$ мкм); наилучший результат по качеству обработки ($Ra = 0,065 \dots 0,08$ мкм) достигается при горизонтальной схеме расположения инструмента с вращением обрабатываемой заготовки на следующих режимах $n = 125$ мин⁻¹, $S_{мин} = 250$ мм/мин, $P = 0,08$ МПа [1, 6, 10].

6. Показано, что суперфинишная ПЦО с вертикальной схемой расположения инструмента без вращения заготовки предпочтительнее, так как снижаются энергозатраты на обработку, которые в сравнении с хонингованием отверстий гильз для получения шероховатости поверхности $Ra = 0,065 \dots 0,08$ мкм уменьшаются в 10 – 17 раз, что превосходит лучшие европейские уровни [10].

7. Доказано увеличение ресурса работы пары трения и несущей способности поверхности после суперфинишной ПЦО, обусловленные уменьшением тангенса угла наклона кривой Аббота, а также повышение износостойкости поверхности и уменьшение времени приработки контактирующих поверхностей трения, в сравнении с поверхностью, обработанной ППД жестким роликовым инструментом, в соответствии с параметрами стандарта DIN 4776 [2, 4, 8, 12, 13].

8. Показано, что гильзы после суперфинишной ПЦО, поверхность которых предварительно упрочнена на операции ППД жестким роликовым инструментом и имеет микротвердость порядка 30 – 40 HRC, превосходят по износостойкости и в 4 раза по маслостойкости хонингованные неупрочненные гильзы итальянского производства [4].

9. Годовой экономический эффект от внедрения нового способа обработки рабочей поверхности гильз гидроцилиндров на основе суперфинишной ПЦО

на РПУП Могилевский завод «СТРОММАШИНА» составил более 28,5 миллионов руб. (в ценах 2008 г.). Срок окупаемости капитальных затрат составляет 6 месяцев и 9 дней.

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Способ, включающий суперфинишную ПЦО, рекомендуется для обработки упрочненной поверхности стальных нетермообработанных жестких и нежестких заготовок гильз гидроцилиндров на предприятиях Беларуси и стран СНГ [18].

2. Суперфинишная ПЦО рекомендована для всех типов производства на имеющемся на предприятии оборудовании, не требует специальных станков высокой точности, процесс экологически чистый, требует небольшого количества электроэнергии (только на перемещение инструмента) и малого давления сжатого воздуха ($P \leq 0,1$ МПа). Исходная шероховатость под суперфинишную ПЦО после жесткого роликового раскатывания должна находиться в пределах $Ra = 0,11 \dots 0,16$ мкм, тогда гарантировано обеспечение качества обработанной поверхности $Ra < 0,1$ мкм [1, 18].

3. Способ обработки внедрен на РПУП Могилевский завод «СТРОММАШИНА» для обработки отверстия гильз цилиндров СМ 942.10.03.181Б, входящих в состав изготавливаемых заводом гидроаккумуляторов СМ 942.10.03.130В. Режимы процесса суперфинишной ПЦО: давление сжатого воздуха, подводимого от цеховой сети к инструменту $P = 0,08$ МПа; частота вращения заготовки $n = 125$ мин⁻¹; подача $s = 250$ мм/мин; количество ходов $i = 1$, шероховатость поверхности после обработки – $Ra = 0,06 \dots 0,08$ мкм [1].

4. В массовом и крупносерийном производствах для использования процесса суперфинишной ПЦО отверстий гильз следует применять агрегатные станки и технологические роторные машины, легко адаптируемые к данному процессу.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в научных журналах

1. Минаков А.П. Исследование технологических возможностей нового способа финишной обработки внутренних поверхностей гильз гидроцилиндров / А.П. Минаков, О.В. Ящук, Е.В. Ильюшина, А.В. Ткачев // Вестник Могилевского государственного технического университета. – 2005. – N 2(9). – С. 114-116.

2. Минаков А.П. Исследование влияния пневмовибродинамической обработки на эксплуатационные свойства обработанной поверхности / А. П. Мина-

ков, Е. В. Ильюшина // Вестник Могилевского государственного технического университета. – 2006. – N 1(10). – С. 172-176.

3. Титова Е.В. Совершенствование финишной обработки внутренней поверхности гильзы гидроцилиндра / Е. В. Титова // Вестник Могилевского государственного технического университета. – 2004. – N 1(6). – С. 180-181.

Статьи в зарубежных журналах

4. Минаков А.П. Сравнительная оценка параметров качества рабочих поверхностей гильз гидроцилиндров, обработанных различными способами / А. П. Минаков, Е. В. Ильюшина // Прогрессивные технологии, машины и оборудование в машиностроении: сб. докладов. - Калининград: ФГОУ ВПО «КГТУ».-2008. - С. 86 – 92.

5. Минаков А.П. Повышение износостойкости пары трения поршневое кольцо-гильза гидроцилиндра / А. П. Минаков, Е. В. Титова // Прогрессивные технологии, машины и механизмы в машиностроении: сб. науч. статей . - Калининград: КГТУ.-2004. - С. 116 – 117.

Материалы и тезисы конференций

6. Ильюшина Е.В. Влияние конструктивных параметров инструмента для финишной ПЦО на качество обработанной поверхности / Е. В. Ильюшина; Науч. рук. А.П. Минаков, д-р техн. наук, проф. // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 17-18 апреля 2008 г.: В 3-х ч. Ч.1. С. 49.

7. Ильюшина Е.В. Снижение уровня шума инструмента в процессе суперфинишной пневмоцентробежной обработки / Е. В. Ильюшина; Науч. рук. А.П. Минаков, д-р техн. наук, проф. // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы междунар. науч.-техн. конф. молод. ученых. - Могилев: ГУ ВПО "Белорусско-Российский университет". - 2008. - С. 45.

8. Ильюшина Е.В. Эксплуатационные свойства поверхности, полученной пневмовибродинамической обработкой / Е. В. Ильюшина; Науч. рук. А.П. Минаков, д-р техн. наук, проф. // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы респ. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Могилев, 26 января 2006г. - Могилев: ГУ ВПО "Белорусско-Российский университет".-2006. - С. 42.

9. Минаков А.П. Аэродинамические характеристики инструмента для суперфинишной пневмоцентробежной обработки / А.П. Минаков, Е.В. Ильюшина // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: В 3 ч. – Могилев: Бел.-Рос. ун-т. 2009. – Ч.1. - С. 87.

10. Минаков А.П. Технологические возможности инструмента для суперфинишной пневмоцентробежной обработки с вертикальной подачей при неподвижной заготовке / А.П. Минаков, Е.В. Ильюшина // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: В 3 ч. – Могилев: Бел.-Рос. ун-т. 2009. – Ч.1. - С. 86.*

11. Титова Е.В. Обработка гильз гидроцилиндров способом пневмовибродинамической обработки / Е. В. Титова; Науч. рук. А.П. Минаков, д-р техн. наук, проф. // *Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы респ. науч.-техн. конф., Могилев, 29 января 2004г. - Могилев: ГУ ВПО "Белорусско-Российский университет".-2004. - С. 71.*

12. Титова Е.В. Пневмовибродинамическая обработка - предпочтительный метод обработки внутренних поверхностей вращения / Е. В. Титова // *Прогрессивные технологии, технологические процессы и оборудование: материалы междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 15-16 мая 2003г. - Могилев: МГТУ.-2004. - С. 105-107.*

13. Титова Е.В. Пневмовибродинамическая обработка - способ получения комплекса показателей качества поверхностного слоя / Е. В. Титова // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы науч.-техн. конф., Могилев, 22-23 апреля 2004г.: В 3-х ч. Ч.1. - Могилев: ГУ ВПО "Белорусско-Российский университет". - 2004. - С. 80.*

Патенты

14. Инструмент для пневмовибродинамической обработки внутренних цилиндрических поверхностей: пат. 966 Респ. Беларусь, МПК В 24В 39/02 / А.П. Минаков, О.В. Ящук, И.Д. Камчицкая, А.В. Ткачев, Е.В. Титова. - № и 20020390; заявл. 16.12.02. Оpubл. 30.09.2003

15. Инструмент для суперфинишной пневмоцентробежной обработки внутренних цилиндрических поверхностей: пат. 4327 Респ. Беларусь, МПК В 24В 39/00. / Е.В. Ильюшина, А.П. Минаков, А.В. Куцепенко. - № и 20070700; заявл. 01.10.07. Оpubл. 30.04.2008.

16. Инструмент для чистовой обработки внутренних поверхностей вращения заготовки методом пластического деформирования: пат. 11856 Респ. Беларусь, МПК В 24В 39/00. / А.П. Минаков, А.В. Куцепенко, Е.В. Ильюшина. - № а 20070494; заявл. 02.05.07. Оpubл. 30.12.2008.

17. Инструмент для чистовой обработки тел вращения методом пластического деформирования: пат.4247 Респ. Беларусь, МПК В 24В 39/00. / А.П. Минаков, А.В. Куцепенко, Е.В. Ильюшина. - № и 20070441; заявл. 18.06.07. Оpubл. 28.02.2008.

18. Способ обработки внутренних поверхностей вращения заготовок из сталей без термообработки: пат. 2244619 Российской Федерации, С1 RU, МПК7

В 24В 39/02. / А.П. Минаков, О.В. Ящук, И.Д. Камчицкая, А.В. Ткачев, Е.В. Титова. - № 2004102354; заявл. 27.01.04. Оpubл. 20.01.2005

РЭЗІЮМЭ

Суперфінішная пнеўмацэнтрабежная апрацоўка гільз гідрацыліндраў

Ільюшына Алена Валер'еўна

Ключавыя словы: суперфінішная пнеўмацэнтрабежная апрацоўка (ПЦА), шурпатасць паверхні, аэрадынаміка працэса, раскатнік, методыка кіравання якасцю, гільзы гідрацыліндраў, эксплуатацыйныя ўласцівасці паверхні.

Аб'ект даследавання: суперфінішная пнеўмацэнтрабежная апрацоўка.

Мэта даследавання: стварэнне і распрацоўка спосаба апрацоўкі паверхней адтулін гільз гідрацыліндраў, забяспечваючага паляпшэнне якасці рабочей паверхні суперфінішнай пнеўмацэнтрабежнай апрацоўкай.

Створан спосаб апрацоўкі ўнутраных цыліндрычных паверхней сталёных нетэрмаапрацаваных загатавак, складзены з аперацый размернай лязвійнай апрацоўкі, ППД цвёрдымі рабочымі элементамі і суперфінішнай ПЦА шарамі, паверхня якіх мае шурпатасць $Ra \leq 0,08$ мкм, дазваляючы атрымліваць шурпатасць апрацаванай паверхні $Ra < 0,1$ мкм, што перавышае традыцыйную тэхналогію накатывання паверхні цвёрдым дэфарміруючым элементам.

Прапанавана фізічная мадэль фарміравання мікрарэльефа апрацаванай паверхні ў працесе суперфінішнай ПЦА, вызначыўшая залежнасць цэнтрабежнай сілы інерцыі, развіаемай шарамі, ад аэрадынамічных параметраў працэса. Праведзеныя страбаскапічныя даследаванні дазволілі стварыць методыку кіравання працэсам суперфінішнай ПЦА, якая звязвае хуткасць і кірунак вярчэння шароў і загатоўкі з канструктыўнымі параметрамі інструмента і рэжымамі працэса.

Створана статыстычная мадэль суперфінішнай ПЦА, дазволіўшая вызначыць, што найбольшы ўплыў на шурпатасць апрацаванай паверхні аказвае ціск сціснутага паветра, падвадзімага да інструмента, зыходная шурпатасць паверхні ($Ra_{зых} = 0,11 \dots 0,16$ мкм).

Методыка даследавання эксплуатацыйных характэрыстык паверхней на аснове аналіза прафілаграм у адпаведнасці са стандартам DIN 4776, выявіла павелічэнне нясухай здольнасці паверхні пасля суперфінішнай ПЦА, абумоўленае памяншэннем тангенса вугла нахілення крывой Абота, а таксама павышэнне зносастойкасці паверхні і памяншэнне часу прыработкі ў параўнанні з паверхняй апрацаванай ППД, а таксама павелічэнне маслаемістасці паверхні ў 4 разы, у параўнанні з ханінгаванымі гільзамі.

РЕЗЮМЕ

Суперфинишная пневмоцентробежная обработка гильз гидроцилиндров

Ильюшина Елена Валерьевна

Ключевые слова: суперфинишная пневмоцентробежная обработка (ПЦО), шероховатость поверхности, аэродинамика процесса, раскатник, методика управления качеством, гильзы гидроцилиндра, эксплуатационные свойства поверхности.

Объект исследования: суперфинишная пневмоцентробежная обработка.

Цель исследования: создание и разработка способа обработки поверхностей отверстий гильз гидроцилиндров, обеспечивающего улучшение качества рабочей поверхности суперфинишной пневмоцентробежной обработкой.

Разработан способ обработки внутренних цилиндрических поверхностей стальных нетермообработанных заготовок, состоящий из операций размерной лезвийной обработки, ППД жёсткими рабочими элементами и суперфинишной ПЦО шарами, поверхность которых имеет шероховатость $Ra \leq 0,08$ мкм, позволяющий получать шероховатость обработанной поверхности $Ra < 0,1$ мкм, что превосходит традиционную технологию накатывания поверхности жестким деформирующим элементом.

Предложена физическая модель формирования микрорельефа обработанной поверхности в процессе суперфинишной ПЦО, установившая зависимость центробежной силы инерции, развиваемой шарами, от аэродинамических параметров процесса. Проведенные стробоскопические исследования позволили создать методику управления процессом суперфинишной ПЦО, связывающую скорость и направление вращения шаров и заготовки с конструктивными параметрами инструмента и режимами процесса.

Разработана статистическая модель суперфинишной ПЦО, позволившая установить, что наибольшее влияние на шероховатость обработанной поверхности оказывает давление сжатого воздуха, подводимое к инструменту, исходная шероховатость поверхности ($Ra_{исх} = 0,11 \dots 0,16$ мкм).

Методика исследования эксплуатационных характеристик поверхностей, на основании анализа профилограмм в соответствии со стандартом DIN 4776, показала увеличение несущей способности поверхности после суперфинишной ПЦО, обусловленное уменьшением тангенса угла наклона кривой Аббота, а также повышение износостойкости поверхности и уменьшение времени приработки, в сравнении с поверхностью, обработанной ППД, а также увеличение маслостойкости поверхности в 4 раза, в сравнении с хонингованными гильзами.

SUMMARY

Superfinish pneumatic centrifugal treatment hydraulic cylinder lines

Ilyushina Elena Valerievna

Key words: superfinish pneumatic centrifugal treatment (PCT), surface roughness, process aerodynamics, roller, quality control method, hydraulic cylinder lines, surface operation characteristics.

Investigation object: superfinish pneumatic centrifugal treatment.

Investigation aim: to create and work out method of treatment of hydraulic cylinder lines aperture surfaces that ensures improvement of working surface by superfinish pneumatic centrifugal treatment.

There has been worked out a method of treatment of steel non-thermally treated inner cylinder surfaces of work pieces. It comprises dimensional edge cutting processing, surface plastic deformation by solid work elements and PCT by balls having roughness index of $Ra \leq 0,08$ mkm. This method allows to get treated surface roughness $Ra < 0,1$ mkm which surpasses traditional technology of surface rolling by a solid deforming element.

There has been suggested a physical model of microrelief of surface in the process of PCT that states relation of inertia centrifugal force developed by the balls to the process aerodynamic indexes. The carried out stroboscopic investigations gave the opportunity to create a new quality control method of superfinish treatment relating rotation speed and direction of balls and work piece to design data of the tool and process modes.

A static model of superfinish PCT has been designed allowing to find out that treated surface roughness is mostly effected by optimum compressed air pressure supplied to the tool, initial surface roughness being ($Ra_{in} = 0,11 - 0,16$ mkm).

The method of surface operation characteristics investigation based on the analysis of profilograms in accordance with standard DIN 4776 showed surface carrying capacity increase after superfinish PCT determined by tangent decrease of angle of curve Abbote slope to the axis. It is also determined by surface wear resistance increase and running-in time decrease as compared to the surface treated by surface plastic deformation, as well as 4 times oil absorption increase in comparison with honed lines.

ИЛЬЮШИНА ЕЛЕНА ВАЛЕРЬЕВНА

**СУПЕРФИНИШНАЯ ПНЕВМОЦЕНТРОБЕЖНАЯ ОБРАБОТКА
ГИЛЬЗ ГИДРОЦИЛИНДРОВ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.02.08
«Технология машиностроения»

Подписано в печать 10.11.2009. Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1.40. Уч.-изд. л. 1.54. Тираж 60 экз. Заказ № 747 .

Издатель и полиграфическое исполнение
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет»
ЛИ № 02330/375 от 29.06.2004 г.
212000, г. Могилев, пр. Мира, 43