

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»

Институт механизации и технического сервиса

Кафедра эксплуатации и ремонта машин

Направление подготовки –35.04.06 «Агроинженерия»

Магистерская программа – «Технический сервис в сельском хозяйстве»

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

**ТЕМА: Повышение долговечности гильз цилиндров ДВС
финишной обработкой антифрикционными материалами**

Студент магистратуры _____ Валиев И.И.

Научный руководитель,
к. т. н., доцент _____ Шайхутдинов Р.Р.

Рецензент
д.т.н., _____ Мазитов Н.К.

Обсуждена на заседании кафедры и допущена к защите
(протокол № 19 от 13 июня 2018 г.)

Зав. кафедрой профессор _____ Адигамов Н.Р.
ученое звание подпись Ф.И.О.

Казань-2018

АННОТАЦИЯ

к выпускной квалификационной работе Валиева Ильдара Ильгизовича на тему: «Повышение долговечности гильз цилиндров ДВС финишной обработкой антифрикционными материалами»

Выпускная квалификационная работа выполнена на страницах. Она содержит таблиц и рисунков. Список использованной литературы состоит из наименований.

Первой главе рассмотрены условия работы и причины износов гильз цилиндров, существующие способы ремонта гильз цилиндров, пути повышения долговечности гильз цилиндров, особенности и сущность финишной антифрикционной безабразивной обработки - латунирования. Наиболее приемлемым способом в нашем случае является способ электрофрикционного латунирования являющийся продолжением фрикционного латунирования.

Второй главе рассмотрены сущность и определены основные параметры процесса предлагаемого способа восстановления. Обоснованы выбор рабочей жидкости и материала инструмента.

В третьей главе изложена программа и методика экспериментов исследований. Изложена методика определения толщины, микротвердости и износостойкости покрытия.

Четвертая глава посвящена результатам экспериментальных исследований. Приведены результаты микрометрических исследований. Получены экспериментальные данные влияния параметров процесса на микротвердость и износостойкость покрытия.

В пятом разделе приведена технико-экономическая оценка .

Работа оканчивается общими выводами.

ANNOTATION

Valiyev Ildar Ilgizovich's final qualification work on the topic: "Increasing the longevity of cylinder liners of ICE by finishing with antifriction materials"

Graduation qualification work is performed on the pages. It contains tables and figures. The list of used literature consists of titles.

The first chapter deals with the operating conditions and causes of cylinder liner wear, existing methods for repairing cylinder liners, ways to improve the durability of cylinder liners, features and the essence of finish antifriction, abrasive machining - brass. The most acceptable way in our case is the method of electrofriction brass, which is a continuation of frictional brass.

The second chapter deals with the essence and defines the main parameters of the process of the proposed recovery method. The choice of working fluid and tool material is substantiated.

The third chapter outlines the program and methodology of research experiments. The technique for determining the thickness, microhardness and wear resistance of the coating is described.

The fourth chapter is devoted to the results of experimental studies. The results of micrometric studies are presented. Experimental data on the influence of the process parameters on the microhardness and wear resistance of the coating are obtained.

The fifth section gives a technical and economic assessment.

The work ends in general conclusions.

ВВЕДЕНИЕ

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) является энергетической базой сельскохозяйственных мобильных агрегатов, на которые приходится 36 ... 52% от общего числа отказов. Одной из проблем повышения надежности и долговечности двигателей внутреннего сгорания является повышение износостойкости гильз цилиндров. Это стало особенно актуальным после начала производства высокоэффективных дизельных

двигателей с турбонаддувом, что значительно увеличило требования к прочности и триботехническим свойствам поверхностей трения.

Известно, что даже небольшое снижение коэффициента трения, повышение износостойкости деталей цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) приводит к значительному повышению эффективности использования двигателей, увеличению моторесурса. Наибольшее значение имеет качество изготовления и ремонта пары трения поршневое кольцо - гильза цилиндра.

При эксплуатации поршневых колец, особенно покрытых твердым хромом, в паре с гильзой цилиндра, обработанной методом обычного абразивного или алмазного хонингования, на поверхностях трения появляются прижоги и задиры, а также происходит схватывание хромового покрытия с поверхностью гильзы. Кроме того при обычном хонинговании происходит насыщение поверхности гильзы цилиндров абразивными частицами, которые в дальнейшем вызывают абразивный износ поршневого кольца.

Наиболее ответственным периодом работы двигателя является период приработки трущихся деталей, так как в это время происходит переход качественных показателей поверхностей трения от технологических к эксплуатационным.

Для увеличения износостойкости и задиростойкости соединения «гильза цилиндра-поршневое кольцо» двигателей применяют различные приработочные покрытия.

Нанесение пластичного покрытия из металла на поверхность трущихся детали соединений прочность на срез покрытия оказывается меньше, чем в металле подложки. Это дает снижение коэффициента трения и интенсивности изнашивания поверхности с покрытием из-за отсутствия (или уменьшения) глубинного разрушения и схватывания металла. Все это существенно, особенно при высоких скоростях скольжения и нагрузках.

Традиционное фрикционное латунирование имеет низкую производительность и поэтому применение технологий повышающих производительность и качество вообще является актуальным.

ЦЕЛЬ. Повышение ресурса гильз цилиндров путем обоснования параметров электрофрикционного латунирования.

ОБЪЕКТ. Объектом является процесс электрофрикционного латунирования гильз цилиндров двигателя ЗМЗ-511.10.

ПРЕДМЕТ. Закономерности процесса электрофрикционного латунирования показатели износостойкости, а также изменения в физико-механических свойствах материала.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. Рациональные параметры электрофрикционного латунирования, показатели износостойкости поверхности.

Практическая ценность работы заключается в возможности использования теоретических и экспериментальных результатов, полученных при обработке гильз цилиндров. По сравнению с обычным фрикционным латунированием разработанная технология позволяет повысить увеличить производительность обработки в 3 раза и износостойкость на 20...22%.

Основные положения диссертации были представлены на научных конференциях Казанского государственного аграрного университета (Казань, 2015-2017 гг.) и на международной научно-практической конференции «Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы», посвященной Волкову И.Е. (Казань, 2017).

Основное содержание диссертации, результаты исследований отражены в двух статьях в материалах международной конференции.

Работа выполнена на кафедре «Эксплуатация и ремонт машин» ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет».

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Условия работы и причины износов гильз цилиндров

Улучшение качества ремонта машин и увеличение их ресурса имеют большое значение в современных экономических условиях. Основная задача ремонта - снизить затраты и улучшить качество ремонта.

Энергетической основой мобильных сельскохозяйственных процессов является двигатель внутреннего сгорания (ДВС), на долю которого приходится 36 ... 52% от общего числа отказов [114, 26]. По данным В.Я. Лимарева М.Н. Ерохина Е.А. Пучина. [65], которые проанализировали отказы машин в течение гарантийного срока, относительное количество отказов двигателей тракторов, автомобилей и комбайнов колеблется от 16,9% в тракторе Т-4А до 80% в тракторе ВТ-100, с в среднем 43,25%. Поэтому увеличение срока службы двигателя требует особого внимания, особенно потому, что большинство машин в агрофирмах и КФХ оснащены двигателями после ремонта.

Проблемы надежности и долговечности двигателей внутреннего сгорания обсуждаются в работах авторами которых являются Б. Б. Генбом, М. А. Григорьев, Н. С. Ждановский С.В. Венцель, Д.Н. Гаркунов, Г.И. Суранов, И.Б. Гурвич, И.А. Мишин, Н.Н. Пономарев, Б.М. Асташкевич, В.Г. Заребин, М.Н. Ерохин, Е.А. Пучин, В.В. Стрельцов, В.Ф. Карпенков и др.

За весь срок службы двигателей автомобилей, тракторов и комбайнов ремонт до пяти раз. Ресурс двигателей после ремонта, по данным [114] составляет 35 ... 40% ресурса новых. Основными причинами небольшого ресурса двигателей после ремонта [70, 105] являются: низкое качество обработки поверхности деталей; плохое качество изготовления деталей после ремонта; низкая культура ремонтной продукции; недостаточная специализация производства на ремонтных предприятиях.

Долговечность и эффективность моторно-тракторных двигателей в значительной степени (на 70 ... 90%) определяются износостойкостью частей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) [22]. Износ снижает тяговое усилие двигателя, увеличивает потребление горюче-смазочных материалов, загрязнение окружающей среды. Таким образом, 100 изношенных автомобильных двигателей загрязняют воздух, а также 125 новых автомобилей [22]. Нарушения в работе ЦПГ влияют на работу других узлов сборки двигателя, ускоряя их износ.

Одной из дорогостоящих и изнашиваемых частей ЦПГ является гильза цилиндра (ГЦ). На размер и характер износа гильзы цилиндра влияют конструктивные особенности и материал деталей ЦПГ, температуры, нагрузки и скорости работы двигателя, температуры и запыленности воздуха, качества и свойств горюче-смазочных материалов и многих других факторов [5,19,24,25,43, 44, 48,66,97,98,99].

Для изготовления гильз цилиндров автомобильных двигателей используется, главным образом, чугун, реже сталь, а также хромированное покрытие для стали и чугуна [32,68]. Предпочтение отдается использованию серого низко- или среднелегированного перлитного чугуна, реже перлитного чугуна с шаровидным графитом, аустенитного чугуна типа «нерзист» и высоколегированных чугунов. Стальные цилиндры менее громоздкие и износостойкие и требуют дополнительной обработки. Общие марки стали 55ПП, 40Х, 30ХЗВА, 50Г,38ХВФЮ и т. д. Для повышения износостойкости стальных оболочек используют химическую термическую обработку и индукционное упрочнение.

Во время работы гильза цилиндра подвергается сложному действию температуры и химических сил, что приводит к различным дефектам. Дефект зеркала является доминирующим, по сравнению с другими дефектами (кавитационного разрушения наружной поверхности, износ нижней поверхности буртика и посадочных поясов, отложения накипи т.д.) и

наиболее существенное влияние на работу двигателя является износ внутренней рабочей поверхности цилиндра [3,5,19, 24,25,43,44, 48,66,97-99].

Внутренняя поверхность цилиндра изнашивается неравномерно по окружности и образующей. Средний размер износа отремонтированных гильз цилиндров двигателя ЗИЛ-130 составляет 2,6 мкм / 1000 км пробега, а для двигателя ЗМЗ-53 - 2,8 мкм / 1000 км. Для новых цилиндров двигателей ЗИЛ-130 и ГАЗ-53 средний износ составляет 0,9 мкм / 1000 км и 1,2 мкм / 1000 км соответственно. Согласно Л. Танинг [], износостойкость новых гильз цилиндров двигателей ГАЗ-53 составляет в среднем 0,42 мкм / 1000 км, а после первого капитального ремонта - 0,8 км / 1000 км.

Наибольший износ на окружности цилиндра чаще всего наблюдается в плоскости качания шатуна и связан в основном с действием нормальной силы в кривошипном механизме [3,19,24,25]. Исследования М. А. Григорьева [44] показали, что износ рабочей поверхности с загруженной стороны в 1,5 раза выше, чем у разгруженной стороны. Износ цилиндров увеличивается с их деформацией из-за разницы, неравномерного нагрева, недостаточной жесткости верхней стенки блока и т. д. В случае низкой жесткости коленчатого вала, изгиб шатуна, неправильная сборка.

Максимальный износ цилиндра вдоль образующей расположен в зоне верхней мертвой точки (ВМТ) верхнего поршневого кольца сжатия, что указывает на самые стрессовые условия его работы. Многочисленные исследования [3,5,6,19,24,25,43,44,48,97-99,] показали, что при сгорании топливно-воздушной смеси в цилиндре давление газа резко возрастает до 3 ... 6 МПа для бензиновых двигателей и до 5,5 ... 17 МПа для дизельных двигателей. Температура газов при сгорании смеси достигает 1800 ... 2200 ° С, из которой масляная пленка на стенке цилиндра нагревается до 350 ° С со средней температурой стенки 120 ... 160 ° С. Когда поршень перемещается в н.м. т., давление и температура газов постепенно уменьшаются, а скорость его перемещения колеблется от 0 до 10 м / с. Характер изменения параметров показан на рисунке 1.1 [16].

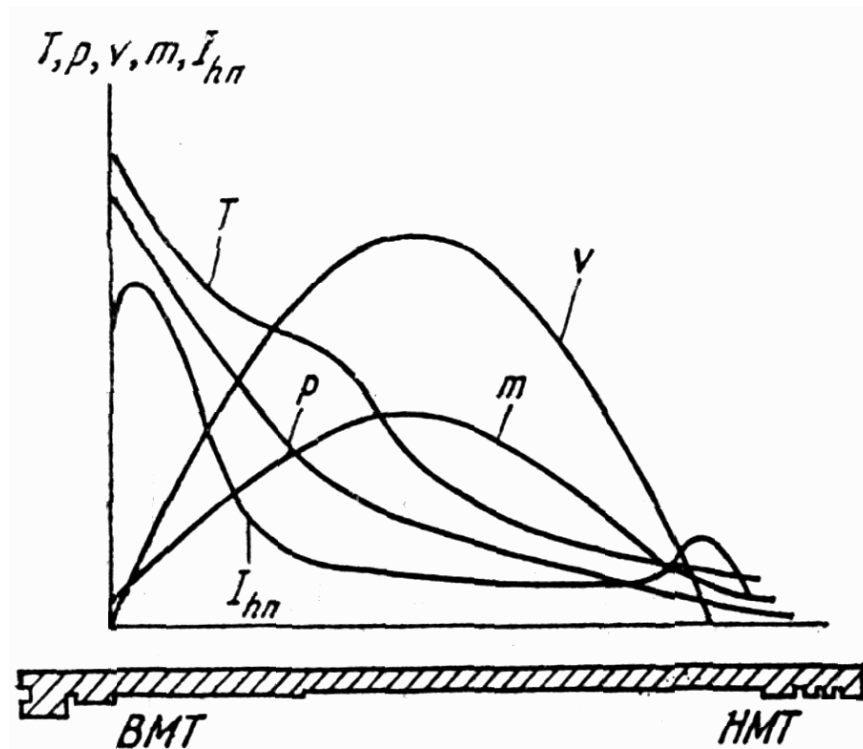


Рисунок 1.1 – Зависимости изменения температуры (T), давления газов (P), скорости поршня (V), толщины масляной пленки (m) и величины износа I_{hn} .

И.Б.Гурвич и другие исследователи [24,25,48] утверждают, что значительную долю износа частей цилиндропоршневой группы составляют схватывание и задиры. Повреждения возникают из-за искажения геометрической формы зеркала цилиндра; отсутствия и неудовлетворительное качество смазки; отсутствия зазора между поршнем и цилиндром; нарушения в кривошипном механизме; плохая приработка; значительное образование углеродных отложений и т. д.

В.Н. Андрейченко и В. Т. Занребин [3,39] считают, что причиной задира является измельчение хромового покрытия с первого поршневого кольца. Самым ценным антизадириным свойством поверхности является высокое содержание масла в поверхностном слое [5,24,25,48].

М.П. Зубитова и И.В. Пустовалов [42] утверждает, что доминирующим видом износа зеркала является абразив, на который приходится 80 ... 90% общего износа. Износ от абразивного материала обусловлен резанием пыли,

продуктов сгорания и износа, попадающих между поршневыми кольцами и цилиндром, а также частиц в потоке газа [43,44,53].

Эффективным методом борьбы с абразивным износом является повышение твердости рабочей поверхности цилиндра [24, 25, 35,43,44,48,50,77,97].

Наряду с абразивным износом велика роль химического окисления продуктов сгорания при изнашивании цилиндрического зеркала велика. Эти продукты, взаимодействующие с водяным паром, образуют кислоты - азотную, уксусную, серную, азотную, хлористоводородную и другие, которые в основном удаляются из камеры сгорания с выхлопными газами. Коррозия только усиливает износ, а удаление металла с ослабленной коррозией из-за окислительно-восстановительных реакций связями в конечном итоге осуществляется механически при относительном перемещении кольца [25,35,97].

Основными методами борьбы с коррозией и механическим износом являются увеличение маслостойкости и антикоррозионных свойств материала гильзы [9,25,35,36,97,88].

Наибольшее значение коррозионного износа достигается при запуске и прогреве двигателя, особенно при низких внешних температурах. В целом, по мнению разных авторов, доля начального износа составляет 50 ... 75% от общего износа [102]. Повышенный износ при запуске и прогреве двигателя обусловлен не только коррозией, но и плохими условиями смазки. После остановки двигателя горячее масло сливается со стенок цилиндра. Зимой масляная пленка, оставшаяся на стенках, замерзает, а затем разрушается при перемещении поршневых колец. Подача того же масла в верхнюю рабочую зону нормализуется только через 3 ... 12 минут после запуска двигателя [56, 96,102]. Кроме того, несгоревшее топливо, конденсируясь приводит смыву масляной пленки с зеркала цилиндра. Это приводит к появлению задиров и интенсификации процессов коррозии. Очень важное и абразивное действие образовавшихся во время пуска частиц износа.

При запуске в условиях низких температур нагрузки на части цилиндро-поршневой группы резко возрастают из-за увеличения динамичности сжигания топлива. Таким образом, когда температура наружного воздуха уменьшается от $+20^{\circ}\text{C}$ до -40°C , жесткость горения топлива увеличивается в 2 ... 10 раз, а максимальное давление газа в цилиндре составляет 1,5 ... 2 раза, по сравнению с номинальным режимом [102].

Различные нарушения технических условий для сборки двигателей, по мнению нескольких авторов [48,97,107], также приводят к сокращению срока службы гильз цилиндров. Л. Тюнинг [105] отмечает, что 75% случаев снижения качества ремонта гильзы цилиндров составляют долю внутризаводских браков. В этом случае срок службы гильз цилиндров после капитального ремонта снижается в 1,9 раза по сравнению с ресурсом нового картриджа.

Таким образом, несмотря на многочисленные исследования, до сих пор нет консенсуса в отношении преобладающей формы износа внутренней рабочей поверхности гильзы цилиндра. Ресурс двигателя после ремонта составляет 35 ... 40% ресурса нового двигателя. Скорость износа гильз цилиндров после капитального ремонта выше, чем для новых. Большинство авторов рекомендуют увеличить твердость и маслостойкость на поверхности для повышения износостойкости.

1.2 Существующие методы ремонта гильз

В науке и практике ремонтного производства накоплен определенный опыт в восстановлении гильз цилиндров. Все способы восстановить зеркало цилиндра можно условно разделить на две группы: с изменением начальных размеров и восстановлением начальных размеров детали.

Способ ремонта путем обработки с изменением начальных размеров включает в себя два метода: использование ремонтных размеров и установку дополнительных ремонтных деталей.

Наиболее распространенным способом восстановления внутренней рабочей поверхности гильз цилиндров является обработка размера ремонта. Суть метода заключается в том, чтобы восстановить геометрическую форму поверхности с увеличением ее диаметра для ремонтных поршней увеличенного размера. Для двигателей типа ЗМЗ имеются три ремонтных размера рукавов, а тип ЗИЛ - два, с интервалом 0,5 мм. Шины тракторных дизелей обычно имеют один размер ремонта, увеличенный на 0,5 или 0,7 мм [87, 106, 111].

Внутренняя рабочая поверхность цилиндра, чаще всего, протачивается, а затем подвергается двух- или трехкратной хонингованию. Расточка цилиндров осуществляется на вертикальном расточном станке в одном или двух проходах инструментами с пластинами из твердых сплавов ВК2, ВК8, ВК3 или Гексанит-Р или Эльбор-Р [104]. Основные поверхности при расточивании являются пояски и упор буртика. С помощью индикаторного устройства или шариковой оправки вдоль нерабочей верхней части втулки центрируют оси шпинделя машины и цилиндра.

Вместо расточки иногда используют внутреннее шлифование на бесцентровых шлифовальных станках типа СШ-64, СШ-22 и т. Д. Гильза устанавливается в инструмент и обрабатывается в два прохода - черновой и чистовой полировка [104]. Недостатками метода внутреннего шлифования являются появление ожогов, мест локального термического влияния на обработанной поверхности и насыщение абразивом зеркала цилиндра. Также возможно образование царапин и волнистости внутренней поверхности цилиндра из-за вибрации инструмента и детали.

После операций расточки или шлифования гильзы подвергают хонингованию в две или три стадии, для которых оставляют допустимая слой 0,05 ... 0,07 мм. Когда грубое хонингование удаляет основную часть припуска

и исправляются ошибки в геометрической форме изделия, а при доводочном и чистовом - шероховатость поверхности уменьшается.

Метод ремонта гильз цилиндров путем обработки под ремонтный размер является наименее трудоемким и имеет низкую себестоимость. Однако часто наблюдается, что срок службы цилиндров снижается на 20 ... 30% из-за уменьшения твердости поверхности и уменьшения прочности стенок [104].

Другим способом восстановления зеркала цилиндра является метод установки дополнительных деталей. Этот метод рекомендуется применять в присутствии глубоких царапин, трещин, а также в случае, когда цилиндр был предварительно обработан в соответствии с последним ремонтным размером. Чаще всего в цилиндр устанавливается чугунная или стальная втулка, за которой следует расточка и хонингование на номинальный размер. Учитывая износ гильз цилиндров, некоторые исследователи [6,94,114] предлагают установку в верхней части гильзы с натягом 0,04 ... 0,08 мм вставки из износостойкого чугуна или стали длиной от 50 до 70 мм.

Другие [98] предлагают использовать твердые и упругие (HRC 50 ... 55) износостойкие пластины из стали У8А, У10А, 65Г, 70С2ХА, которые удерживаются на внутренней поверхности цилиндра за счет упругости. При повторном восстановлении изношенные пластины выпрессовываются и заменяются новыми. Однако, когда цилиндр используется с такими вставками на границе пластины и втулки, образуется ступень, которая повышает износ поршневых колец. С этой точки зрения целесообразнее устанавливать цельные вставки по всей длине цилиндра.

В последнее время ряд ремонтных предприятий применяют метод восстановления цилиндров с использованием гильзовки обработкой под размер поршней, которые были в эксплуатации. Однако такое сбережение компенсируется дополнительными затратами на восстановление и уменьшением срока службы двигателя.

Общим недостатком методов восстановления цилиндров путем установки дополнительных деталей является деформация гильзы и повышенное тепловое напряжение деталей из-за ухудшения отвода тепла от цилиндра. Кроме того, при растачивании таких цилиндров вставка проворачивается или нарушается макрогеометрия отверстия в 4-5 раз выше, чем установленный допуск.

Гильзы цилиндров также могут быть восстановлены путем электродуговой наплавки внутренней поверхности стальной проволокой, лентой или порошковой проволокой. Л.С. Влоковичер и. Грехов Л.С. предлагают метод центробежной индукционной наплавки зеркала цилиндра с зарядом порошка.

Методы электродуговой и индукционной наплавки сопровождаются высоким нагревом гильз цилиндров, в результате чего ухудшаются структура и физико-механические свойства основного металла детали, появляются значительные внутренние напряжения. В результате неравномерности деформаций цилиндра требуется удаление больших слоев материала (диаметр) при последующей обработке. Кроме того, наружная поверхность цилиндра тоже подвергается обработке, что значительно увеличивает трудоемкость ремонта.

Вышеупомянутые недостатки также характерны для методов термической усадки и термопластического обжатия гильз цилиндров. Метод В. Н. Хромова И.Н. Соколенко [97] обеспечивают нагрев цилиндра, плотно установленного в матрице, с помощью высокочастотных токов. В результате происходит термическая деформация цилиндра (усадка) с уменьшением его внутреннего диаметра. Кроме того, цилиндр подвергается растачиванию, хонингованию и нанесению медного покрытия с помощью головки с роликами.

Использование газотермических способов осаждения металлических покрытий позволяет получать различные покрытия различного состава и физико-механические свойства. Но для их использования при

восстановлении гильз существуют значительные препятствия, вызванные ограничениями конструкции ремонтируемой поверхности и используемым оборудованием. Усадка металлизированного слоя на внутренней поверхности цилиндра облегчает его отделение от основания. Прочность сцепления покрытия с основным металлом не превышает 40 ... 45 МПа [104] что не гарантирует надежную работу цилиндра. Последующая обработка металлизированной поверхности затруднена из-за значительной твердости металлизированного слоя.

Известны технологические процессы восстановления зеркала цилиндра путем электролитического осаждения хрома, железа, никеля, их сплавов и других металлов [68,80,103,104, 107]. Применение гальванических покрытий осуществляется с помощью ванны, струй, проточки или электролитического натирания. Кроме того, компания Micromatic (США) предложила метод гальванического механического хонингования, который сочетает гальваническое осаждение металла с одновременной обработкой поверхности путем хонингования. Перед нанесением хрома зеркало цилиндра подвергают расточке с последующим хонингованием для удаления следов износа. После покрытия цилиндр снова обрабатывается.

Электролитическое осаждение металлов по сравнению с рассмотренными выше методами имеет ряд преимуществ: из-за отсутствия перегрева исходная структура металла компонента остается; высокая твердость (до 9000 ... 13800 МПа для хромированного покрытия), теплостойкость и коррозионная стойкость покрытия; возможность регулирования физико-механических свойств осадков; небольшие допуски для окончательной обработки (в пределах 0,2 ... 0,3 мм); возможность автоматизации технологического процесса.

Общими недостатками гальванических способов являются низкая производительность и высокая стоимость процессов, недостаточная адгезия покрытий к подложке, низкое поглощение масла и износостойкость

покрытий, трудность последующей обработки и токсичность используемых материалов.

В.М. Асканази [4] исследовал метод электромеханической обработки чугуновых цилиндров двигателей внутреннего сгорания. Суть этого метода заключается в том, что при контакте детали с нажимом инструмента пропускается электрический ток большой силы и низкого напряжения, так, что в точке контакта небольшие объемы поверхностных слоев металла нагреваются до высокой температуры и деформируются под внешним давлением инструмента. В этом случае поверхностные слои сжимаются, и когда инструмент перемещается, спиральные выступы выступают над поверхностью детали. Твердость обрабатываемой поверхности увеличивается на 65%. Износ таких цилиндров на 56 ... 60% меньше, чем у обычных. Увеличение износостойкости обусловлено увеличением твердости, образованием «белого слоя», увеличением поглощения масла поверхностью. Недостатком этого метода является пренаклеп поверхности.

Таким образом, было разработано много методов восстановления зеркала цилиндров, как с нанесением слоя материала, так и без него. Однако наиболее распространенным методом обработка под ремонтный размер.

1.3. Способы увеличения износостойкости гильз цилиндров

Взаимодействие твердых тел с внешним трением локализуется в тончайших поверхностных слоях, физико-механические свойства которых существенно влияют на их работоспособное состояние. Следовательно, правильный выбор технологии, особенно операций отделки, способствует формированию оптимальных свойств поверхности детали и, в конечном счете, определяет рабочие характеристики.

Основными способами повышения износостойкости пары гильза цилиндров - поршневое кольцо является улучшение физических и

механических свойств контактных поверхностей и внешних условий их работы.

Внешние условия могут быть улучшены за счет использования высококачественных масел (например, введение различных добавок может увеличить пороговую температуру разрушения масляной пленки с 470 до 520K) , а также увеличить количество масла на поверхности, создавая микролунки для масла в виде специального масляного профиля или канавки различной формы [7,33,116].

Основными методами получения регулярного микрорельефа на поверхности деталей являются виброобкатывание и накатка, которые относятся к методам поверхностно-пластической деформации [33,64,116]. Они позволяют укрепить поверхностный слой, сформировать требуемый микрорельеф, увеличить маслосъемность и износостойкость.

Маслосъемный профиль также может быть образован путем разрезания винтовых или радиальных канавок глубиной 0,04 ... 0,05 мм с жестким или вибрирующим инструментом. Ширина канавки не должна превышать 40% от толщины поршневого кольца.

Компания «VOLKSWAGEN» разработала процесс хонингования цилиндров в чугуна блоке струями жидкости под давлением до 12 МПа [93]. В результате микрорезервуары образуются произвольно на поверхности цилиндра. После этого выполняется двукратное хонингование. Оставшиеся канавки диаметром 30 ... 50 мкм и глубиной более 3 мкм образуют масляные резервуары, количество которых составляет до 40 на 1 см². Использование этого процесса также позволяет снизить потребление масла на 70%.

Несмотря на это, методы поверхностно-пластической деформации и канавки не были широко использованы в технике и ремонте из-за высокой трудоемкости, поскольку эти низкопроизводительные операции выполняются дополнительно после завершения хонингования. Кроме того, степень пластических деформаций во время обработки часто связана с перегибом, что недопустимо для цилиндров. Кроме того, часть

экструдированного металла образует маленькие бугры на поверхности зеркала, что способствует появлению царапин и задиrow.

Электролитическое покрытие поверхности цилиндров покрытиями из хрома, железа, никеля, их сплавов и других металлов также позволяет повысить износостойкость. Тем не менее, покрытие из хрома плохо смачивается маслами, что приводит к увеличению износа в результате задиrow. Чтобы уменьшить задиры, необходимо увеличить объем масла на поверхности покрытия, создавая поры, впадины и каналы на его поверхности. Для этого предварительно зеркало цилиндра деформируют раскаткой перед хромированием, прибегают к химическим или электрохимическим травлениям нанесенного покрытия.

Электрохимический метод основан на анодном травлении покрытий в различных растворах, имеющих сеть микротрещин, в результате чего может быть получена канальная или точечная пористость. Пористость лучше получается при использовании трафаретов с сеткой отверстий, что позволяет получить необходимые размеры пор и желаемое место. Химический метод основан на химическом травлении покрытий в соляной и серной кислотах, что приводит к расширению и углублению микротрещин. Также для подготовки пор используется механический метод для нанесения углублений путем прокатки, дробо- и пескоструйной обработки и других методов перед электролитическим осаждением покрытия. Однако из-за низкой производительности эти методы широко не использовались.

Методы химико-термической обработки - науглероживание, нитрование, сульфирование, фосфатирование - позволяют повысить износостойкость гильз цилиндров [70,89]. Тем не менее, эти методы мало полезны в производстве, особенно для ремонта, из-за их низкой производительности (например, средняя скорость науглероживания составляет 0,08...0,1 мм / ч), сложность, энергоемкость, необходимость больших затрат оборудования, дополнительные области и средства защиты окружающей среды. Большинство методов химико-термической обработки

проводят при температуре 500 ... 900С, что вызывает деформацию деталей и требует последующей дополнительной обработки.

Для получения высококачественной закаленной поверхности можно использовать лазерную обработку [10,112]. На зеркале гильз цилиндра параллельные канавки наносится лазерным лучом под углом 10...30 к образующей цилиндра. Частота расположения полос в области вmt. поршневое кольцо является максимальным и уменьшается вдоль длины цилиндра. Глубина находится в пределах 0,1 ... 0,5 мм, и образуются канавки, в которых смазка сохраняется. Этот метод отличается простотой технологии и отсутствием деформации детали. В то же время этот процесс является довольно дорогостоящим и требует очень дорогого оборудования.

Традиционный способ отделки внутренней рабочей поверхности гильз цилиндров - абразивный или алмазный хонингование [109, 38,]. Хонингование позволяет уменьшить шероховатость поверхности, улучшая форму отверстия. Обработка производится алмазными или абразивными брусками, закрепленными в хонголовке, которая выполняет возвратно-поступательное и вращательное движение. Бруски изготовлены из электрокорунда, карбидов кремния, кубического нитрида бора, синтетических алмазов, таких как ASO, ASV, ACP, ASA, ACM и т. Д. Хонингование осуществляется в 2 ... 3 этапа по разным зернистости и на соответствующих режимах. На черновых и чистовых режимах хонингования форма цилиндра корректируется, после чего шероховатость поверхности окончательно доводится.

На обработанной поверхности следы, оставленные зернами брусков, образуют своего рода сетку с разными углами пересечения линий. Для гильз цилиндров наиболее выгодным, с точки зрения работоспособности, угол пересечения рисков является 45 ... 75° []. Большой угол вызывает увеличение потребления масла, а меньший вызывает задир. В глубине микрополостей 1,0 ... 1,6 мкм этой сетки смазка сохраняется. Согласно

исследованиям [], расход масла такой поверхности очень мал, что приводит к появлению схватывания.

Институт сверхтвердых материалов Академии наук СССР совместно с Пермским политехническим институтом предложил способ хонингования плосковершинного . Обработка осуществляется в 2 этапа. на первом этапе с помощью крупнозернистых брусков создается основная шероховатость, глубина которой достигает 20 ... 25 мкм. Затем мелкозернистые блоки удаляют слой 12 ... 17 мкм. В результате, образуется поверхность с плоскими вершинами с опорной площадью 50 ... 80%, в которые воспринимают основную нагрузку, и впадинами глубиной 3 ... 6 мкм являются микронными водоемами смазочный материал. Маслосъемность такой поверхности в 5 ... 12 раз выше, чем после традиционного хонингования. Такая поверхность наиболее близка к параметрам поверхности, сформированной во время приработки, которая характеризуется наименьшей изнашиваемостью .

Недостатками хонингования являются: использование дорогостоящих алмазных инструментов; возможность появления прижогов и царапин на обрабатываемой поверхности; наличие по крайней мере двух переходов; необходимость в инструменте с разным размером зерна. Недостатком абразивного и алмазного хонингования является также насыщение обработанной поверхности абразивными частицами (шаржирование). Эти частицы вызывают повышенный износ поршневых колец и поршня, уменьшая ресурс деталей. В этом свете особенно опасен алмазный инструмент.

Использование алмазных инструментов в операциях, по крайней мере, доводки, не рекомендуется, так как поверхность сильно деформируется из-за плохих режущих свойств алмазных зерен. Таким образом, при обработке чугуна, хотя обеспечивается большее удаление металла, металл деформируется и закрываются графитовыми включения (поверхность цилиндра становится матово-светло-серого цвета). В результате образуется

так называемый «жестяной слой», который значительно снижает ресурс деталей .

Маслоудерживающую способность поверхности можно увеличить, разрезая микро-канавки, методами поверхностно-пластической деформации, химическим и электрохимическим травлением поверхности и т. Д.

Повышение твердости обрабатываемой поверхности достигается путем термообработки; путем нанесения твердого слоя хромированием, оставлением, наплавкой и закалкой, электромеханической обработкой и т. д. Последующая обработка цилиндров затруднена из-за высокой твердости восстановленной поверхности. Использование абразивных и алмазных инструментов при отделке приводит к насыщению обработанной поверхности абразивными частицами, что, в свою очередь, уменьшает срок службы деталей. Поверхность во время хонингования сильно деформируется, что приводит к возникновению больших остаточных напряжений.

Одним из способов увеличения износостойкости деталей является финишная антифрикционная абразивная обработка (ФАБО) цилиндров двигателя внутреннего сгорания [7, 75,22]. Суть ФАБО заключается в том, что на поверхности за счет трения наносится слой мягкого антифрикционного металла (латунь, бронза, медь и т. Д.). Впервые этот метод, называемый фрикционным латунированием, был предложен В. Н. Лозовским и Д. Н. Гаркуновым, получившим слой из латуни на стальном стержне, когда его натирали латунным стержнем в среде глицерина [22]. При использовании латуни ЛС59 и Л62 со скоростью скольжения 0,15 ... 0,2 м / с и удельным давлением 102 ... 150 МПа стальная поверхность покрыта сплошным слоем латуни с толщиной 1 ... 3 мкм [18]. В работах Г. Ползера, В. Мюллера, И. Ланге и др. [80, 89] было показано, что во время стендовых испытаний двигателя с втулками, обработанных в области верхних мертвых точек, износ уменьшился на 20 ... 25%, а расход топлива снизился на 2,8%. В этом процесс приработки завершается через 30 ... 40 минут, что в 1,5 раза быстрее, чем после хонингования. Увеличение износостойкости после ФАБО

связано с увеличением несущей способности благодаря сглаживанию шероховатости поверхности (на 15 ... 30%), росту площади фактического контакта, упрочнению поверхности детали на глубину до 70 мм, упрочнения поверхности трения, повышения смачиваемости поверхности.

Недостатками методов ФАБО являются значительное удельное давление инструмента, которое вызывает деформацию тонкостенных деталей; перенаклеп поверхности детали; необходимость предварительной очистки и обезжиривания поверхности.

Таким образом, исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что основными способами увеличения износостойкости зеркала гильзы цилиндра являются увеличение твердости и маслоудерживающей способности поверхности зеркала.

1.3 ФАБО цилиндров двигателей внутреннего сгорания

Для фрикционно-механического нанесения медьсодержащих покрытий на поверхности трения гильз цилиндров и других деталей типа «втулка» разработан ряд специальных приспособлений, полуавтоматов, автоматов и станков.

В России первые работы по созданию технологического процесса ФАБО цилиндров высоконагруженных дизельных двигателей были проведены О.В. Чекулаевым и С.А. Терезкиным. Азотированные гильзы из стали 38Х2МЮА обрабатывали на токарном станке с помощью приспособления, устанавливаемого в резцедержателе.

Приспособление (на рис. 1,2 изображена его передняя часть) содержит головку 8 со стаканами 7, 76, в разрезных направляющих втулках 2, 15 которой перемещаются два подвижных штока 6, 12. Через систему рычагов усилие от подпружиненной тяги 9 передается на штоки, и установленные в них прутки 4, 14 прижимаются к обрабатываемой поверхности 3 с давлением 80... 120 МПа. Рычаги 1 соединены шарнирно с крышкой 7 головки и вилкой тяги.

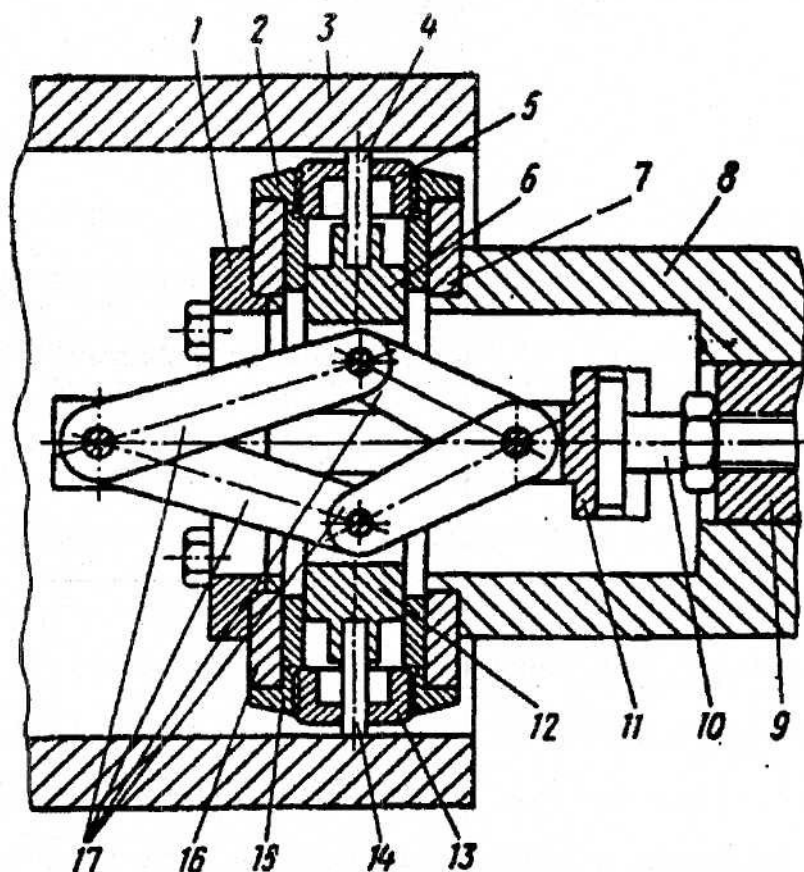


Рисунок 1.2 – Приспособление для ФАБО

Самоустановка прутков латуни в процессе работы обеспечивается перемещением вилки 17, имеющей паз, относительно болта 10. По мере износа прутки перемещаются в радиальном направлении в гайках 5, 75 на 12 мм, что вполне достаточно для обработки комплектом прутков сечением 0,4 мм нескольких гильз диаметром 150 мм и длиной 264 мм.

После изнашивания прутки заменяются новыми. Для введения латунных прутков в гильзу подпружиненная тяга отжимается специальной гайкой, в результате чего штоки сдвигаются к центру.

В качестве материала покрытия применяли латунь Л62, в качестве рабочей жидкости — смесь двух частей технического глицерина и одной части 10% -го раствора соляной кислоты. После обработки гильзы тщательно промывали теплой водой, просушивали и консервировали.

Обширные исследования по ФАБО цилиндров двигателей внутреннего сгорания были выполнены в Германии проф. Г. Польцером и его учениками. Предварительно проведенные лабораторные испытания латунированных и

нелатунированных валов в паре с чугунным подшипником показали, что этот процесс придает высокие антифрикционные свойства стальным и чугунным поверхностям. Причем эти свойства сохраняются и после того, как латунное покрытие будет полностью изношено. Следствием этого является то, что при латунировании стальная и чугунная поверхности упрочняются на глубине до 80 мкм.

Поверхности цилиндров подвергаются различным методам обработки: вибрационному упрочнению, жидкостному азотированию, дробеструйной обработке и др.

Научной школой проф. Г. Польцера был разработан ряд приспособлений для ФАБО цилиндров двигателей и других деталей. Приспособления устроены так, что в них натирающий стержень (инструмент) вращается вокруг своей оси. Это позволяет обеспечить:

- 1) линейное касание элемента и вместе с тем малую реальную площадь его контакта с натираемой поверхностью, что позволяет иметь высокие давления при небольших усилиях прижатия;

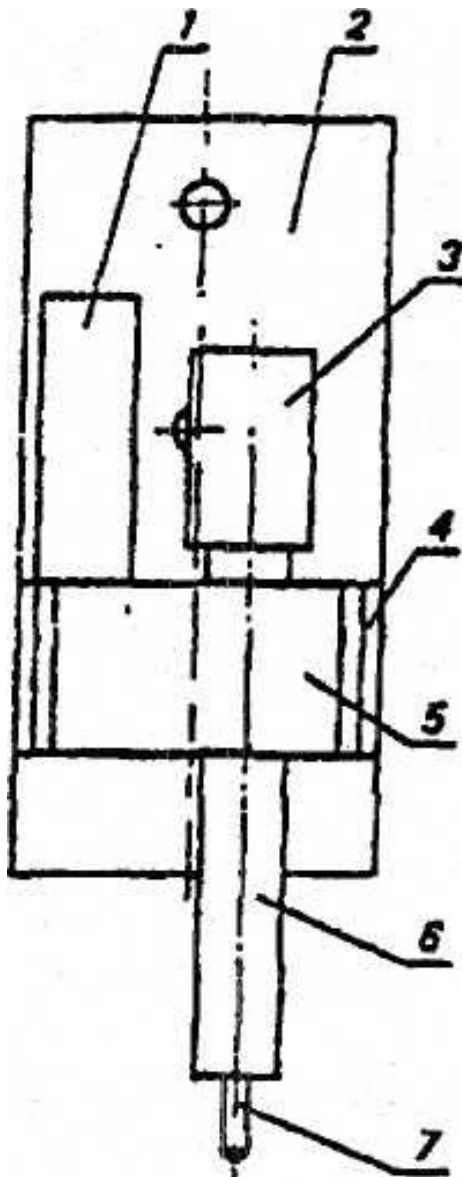
- 2) постоянное изменение области контакта в процессе латунирования. Оба условия необходимы для того, чтобы с помощью микроадгезионных процессов обеспечить высокое качество покрытия. Исследованиями установлены оптимальные удельные нагрузки — от 60 до 90 МПа, и давления по Герцу свыше 700 МПа.

Разработка как механического, так и химико-механического латунирования имела отправной точкой простое натирание латуни на поверхность и связана с одновременным упрочнением этой поверхности. Различие размеров и конфигурации подлежащих покрытию деталей обусловило различие способов осуществления процесса.

Г. Польцер приводит четыре способа ФАБО:

1. Покрытия наносят путем натирания поверхности вращающимся относительно своей продольной оси латунным стержнем. Этим способом

латунируют валы, а также симметричные плоские поверхности, причем подлежащие обработке детали в процессе натирания вращаются (рис. 1.3).

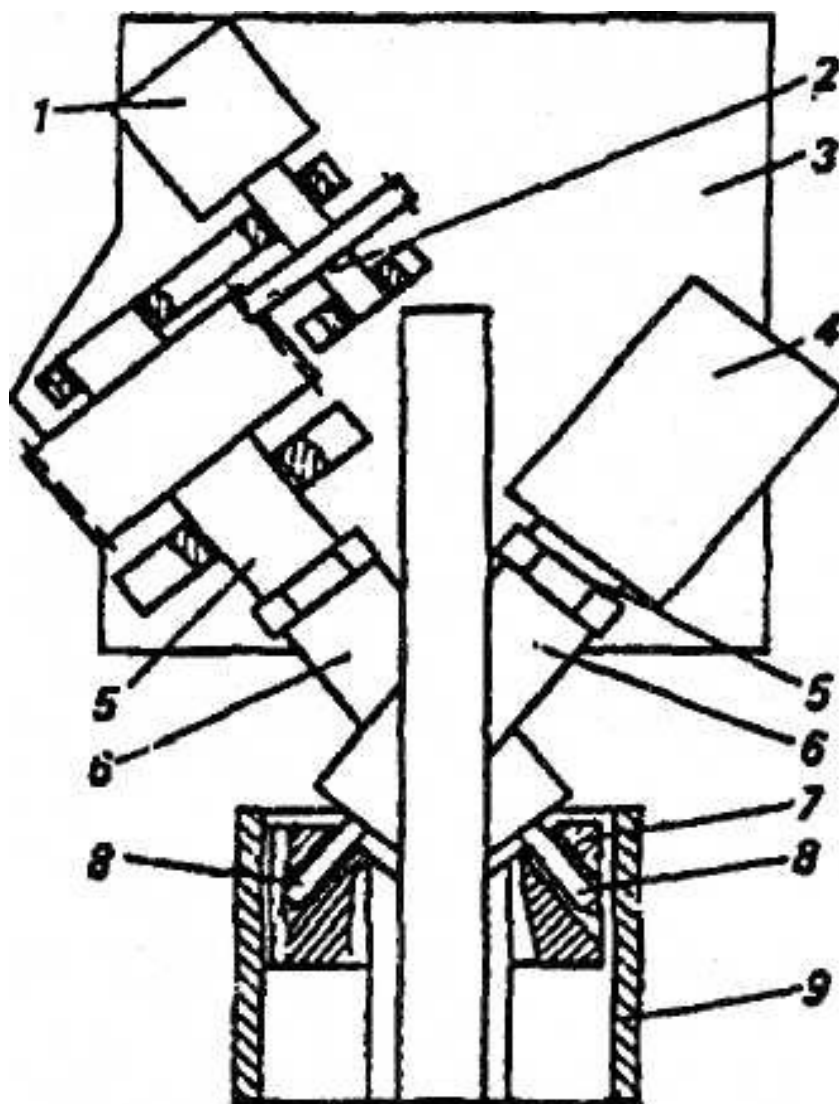


1 - приводной электродвигатель; 2 - станина; 3 - гидроцилиндр;
4 - направляющие; 5 - червячный редуктор; 6 - натирающий стержень

Рисунок 1.3- Приспособление МВ-1 для латунирования валов и плоских поверхностей, устанавливаемое на токарном станке

2. Второй способ имеет два варианта: а) для деталей, которые можно привести во вращение (например гильзы); б) для деталей, находящихся при обработке в статическом состоянии (например блоки цилиндров двигателей). Покртия наносят путем натирания поверхности двумя перекрещивающимися вращающимися относительно своих продольных осей латунными стержнями. Этим способом латунируют

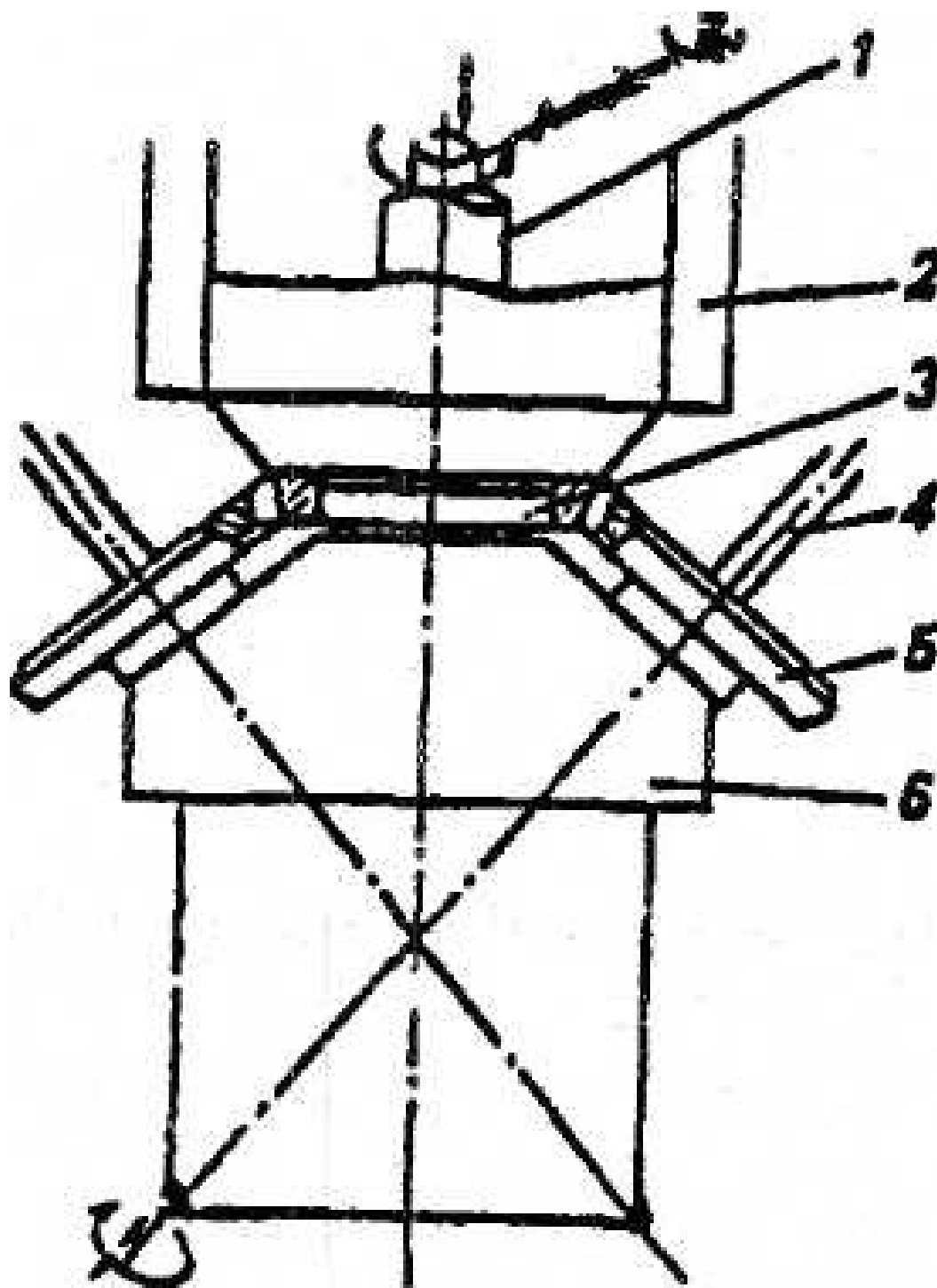
внутренние цилиндрические поверхности деталей, которые в процессе обработки вращаются относительно своих продольных осей (рис. 1.4).



1- приводной электродвигатель; 2 - зубчатая передача; 3 - основная плита; 4 - гидроцилиндр; 5 - приводной вал; 6 - зажимное устройство; 7 - натирочная головка; 8 - натирающий стержень; 9 - гильза цилиндра ДВС

Рисунок 1.4- Приспособление МВ-3А для латунирования гильз

Схема приспособления, соответствующего второму варианту этого способа - при неподвижном изделии — приведена на рис. 1.5



1 - шпиндель; 2 - кожух; 3 - коническая шестерня; 4 - натирающий стержень; 5 - малая шестерня; 6 - натирочная головка; 7 - шпиндель

Рисунок 1.5 - Приспособление МВ-5А для латунирования внутренних цилиндрических поверхностей в блоках цилиндров, устанавливаемое на вертикально-сверлильном станке

Процесс ведут с помощью приспособления МВ-5А, которое устанавливается как натирающий инструмент - головка на вертикально-

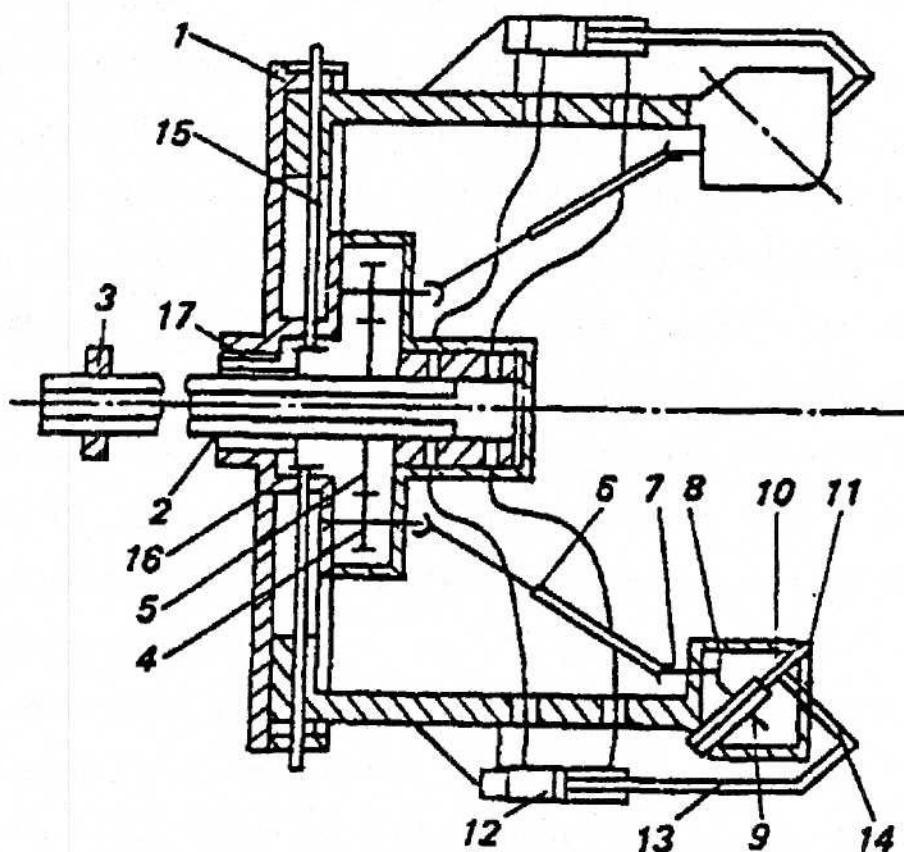
сверлильном станке (рис. 1.5). Вращение натирающих стержней осуществляется путем принудительного обкатывания са-теллитов относительно конической шестерни, соединенной неподвижно со станиной станка. Прижатие стержней осуществляется через систему рычагов и валиков сателлитов, в которых закреплены стержни.

3. Покрытия наносят путем натирания поверхности одним или спаренным, расположенными оппозиционно, натирающими трубчатыми латунными элементами, которые прижимаются к вращающейся детали (валу или плоской детали), подлежащей покрытию. Применение латунных натирающих трубок делает возможным фрикционное латунирование поверхностей с нарушениями сплошности (сверления, канавки, кольцевые углубления).

4. Приспособление для фрикционного латунирования МВ-6 дает возможность аналогично приспособлению МВ-5А латунировать валы, закрепляемые неподвижно (рис. 1.6).

Можно также применять специальные вспомогательные и установочные приспособления для закрепления подлежащих покрытию деталей: зажимное приспособление для разрезных поршневых колец, приспособление для закрепления шатунов при натирании их кольцевых поверхностей и приспособление для закрепления плоских некруглых деталей, обеспечивающее их вращение при натирании плоскости.

Для определения влияния ФАБО на износостойкость цилиндров Г. Польшером были проведены испытания двухтактного автомобильного двигателя с латунированным и нелатунированными цилиндрами. Износ цилиндров замерялся методом вырезанных лунок.



1 - корпус (базовая деталь); 2 - центральная труба; 5 - фланец; 4 - планетарная шестерня; 6 - карданный вал; 7 - вал малой шестерни; 8,9 - малые шестерни; 10 - натирающий элемент; 11 - натирающий стержень; 12 - пневмоцилиндр; 13- нажимная штанга; 14 - нажимная вилка; 15 - приводной шпиндель; 16 - планетарная коническая шестерня; 17- солнечная коническая шестерня

Рисунок 1.6 - Натирающее приспособление МВ-6 для наружных цилиндрических поверхностей

На рис. 1.7 даны эпюры износа стенок цилиндров после условного пробега автомобиля, равного 100 000 км.

Представляет интерес влияние ФАБО цилиндров на удельный расход топлива. Эта работа была выполнена проф. Г. Польцером и его учениками. Испытывался четырехцилиндровый четырехтактный двигатель Фиат-1300. Результаты испытаний приведены на рис. 1.8. Как видно, имеется явная тенденция уменьшения расхода топлива при латунированных цилиндрах по сравнению с его расходом при нелатунированных цилиндрах.

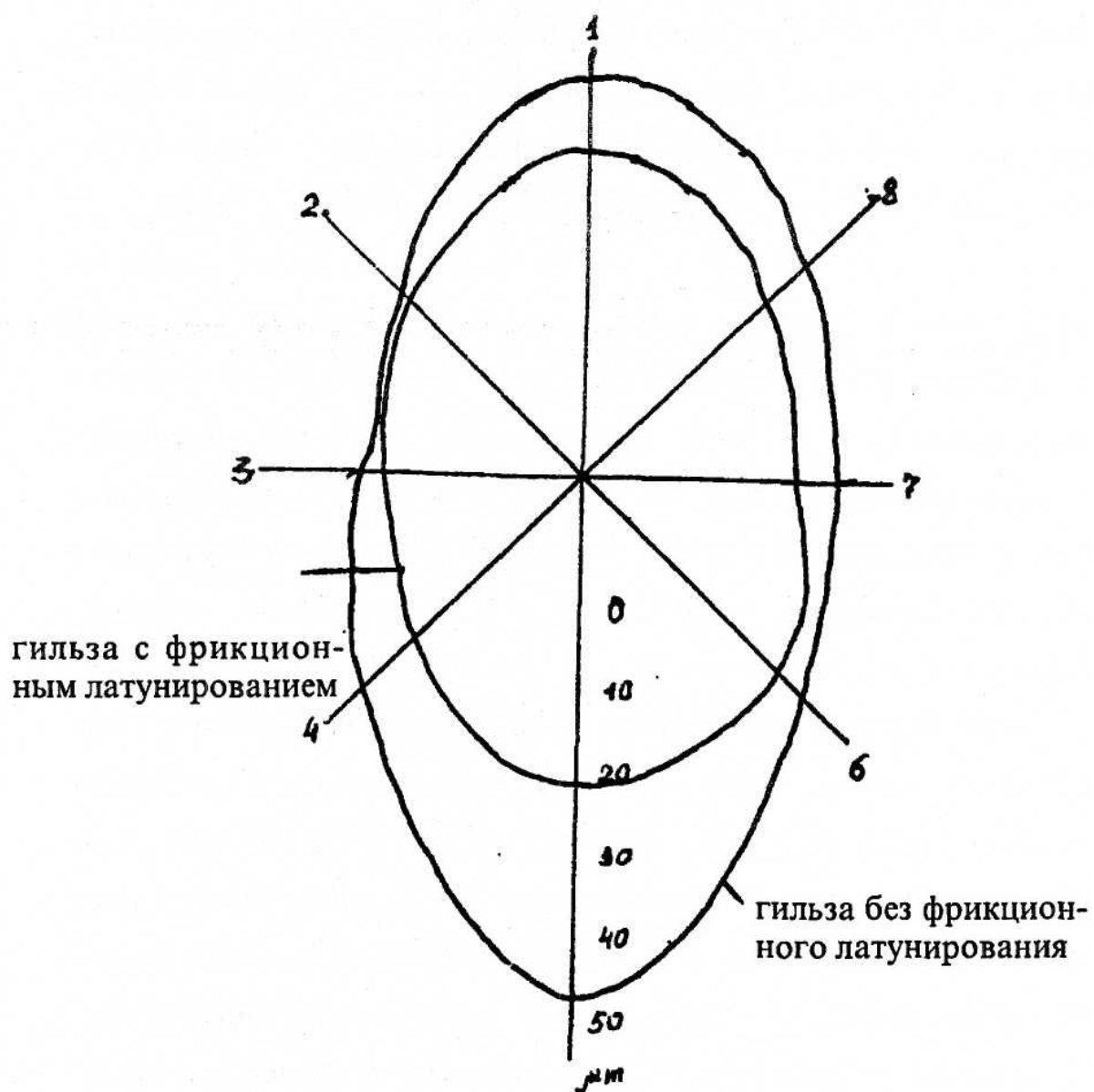
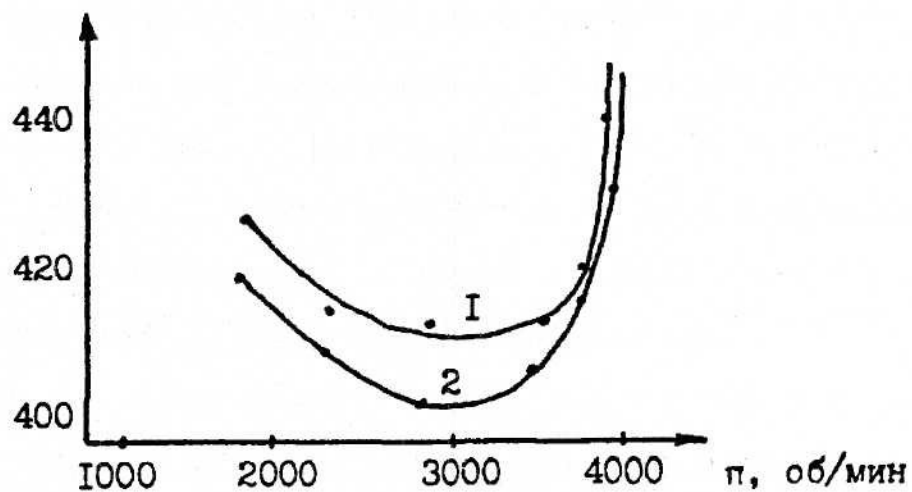


Рисунок 1.7 - Радиальное распределение износа. Стенка цилиндра, двухтактный двигатель, пробег 100 000 км



1- без латунирования; 2 - при фрикционном латунировании

Рисунок 1.8- Удельный расход топлива. Четырехцилиндровый четырехтактный двигатель Фиат 1300

Благодаря относительно большому давлению P_a (60...80 МПа) в местах контакта при ФАБО происходит упрочнение стальной и чугуновой поверхности обрабатываемой детали на глубину до 80 мкм. Это впервые было изучено проф. Г. Польцером и его учениками. Результат был неожиданным, так как обычно упрочнение поверхности стальных деталей проводится стальными шариками или алмазным наконечником, например при алмазном выглаживании. Здесь мягкий латунный прутки производил упрочнение, причем на достаточно большую глубину. При этом, по-видимому, имело место объемно-напряженное состояние сжатия микрообъемов поверхности, что и упрочняло материал обрабатываемой детали. Кроме того, проф. Г. Польцер производил обработку деталей вращающимся прутком, что еще более способствовало упрочнению поверхности.

Измерение микротвердости поверхностного слоя стальных и чугунных образцов после ФАБО производили по методу Ханемана, где, аналогично методу Виккерса, используют алмазную пирамиду, закрепленную в измерительной головке. При определенных условиях нагружения пирамида оставляет на полированной поверхности объекта квадратный отпечаток, который затем измеряют. По результатам исследования можно отметить, что на глубине 70...80 мкм твердость поверхности увеличивается до 30 % по сравнению с твердостью основы. Условия ФАБО (давление, скорость процесса) влияют на характер кривой распределения твердости по глубине.

Данная работа служит объяснением того, что процесс ФАБО влияет на износостойкость изделия даже после износа латунного покрытия.

Последующие испытания латунированных цилиндров на автомобильном двигателе при отсутствии в масле металлоплакирующей

присадки показали, что даже после 70 000 км пробега автомобиля методом радиоактивных изотопов можно обнаружить на поверхности цилиндра следы меди. Это объясняется тем, что при пластическом деформировании поверхности цилиндра латунным прутком происходит диффузия меди в поверхностные слои материала цилиндра.

Отметим также, что немецкие коллеги здесь впервые применили при обработке зеркала цилиндра вращение латунных прутков, расположенных к поверхности цилиндра под углом. Это позволило создать линейный контакт между обрабатываемой деталью и инструментом вне зависимости от износа последнего, а следовательно, значительно повысить давление инструмента на обрабатываемую поверхность.

ФАБО снижает шероховатость поверхностей деталей. Ее величина после латунирования зависит от материала основы и исходной шероховатости поверхности. Параметр R_a должен иметь значение не ниже 1,25 мкм. В этом случае обеспечивается высокое качество покрытия и высокая производительность (наименьшее число проходов инструмента 1...2). Здесь образуются на поверхности микронеровности острой формы и интенсивно изнашивают инструмент, а продукты износа образуют сплошное покрытие. При значениях R_a меньше 0,3 мкм латунирование затруднено тем, что процесс микрорезания инструмента деталью заменяется пластическим оттеснением, в результате чего интенсивность изнашивания инструмента падает, происходит постепенный наклеп инструмента на значительную глубину, что затрудняет отрыв отдельных частиц и перенос их на деталь. Особенно это характерно для поверхностей, обработанных методами поверхностного пластического деформирования (обкатка роликами, алмазное выглаживание и т. д.), имеющих большой радиус закругления микронеровностей.

При значении параметра шероховатости $R_a = 2,5$ мкм и более грубых шероховатостях сложно обеспечить проникновение материала инструмента во впадины микронеровностей; покрытие в этом случае получается не

сплошным. Получить качественное покрытие на поверхностях, имеющих грубую регулярно-шероховатую поверхность, авторам работы [] удалось с помощью обработки периферийной частью свободно вращающегося на оси латунного ролика, ось которого составляет с осью детали угол $75-80^\circ$. В этом случае ролик получает вращение вследствие трения о деталь, прирабатывается к обрабатываемой детали, на его рабочей поверхности формируется ответный микрорельеф, который легко внедряется во впадины микронеровностей и осуществляет натирацию вдоль них. По такой схеме можно обрабатывать поверхности, получаемые токарной обработкой, при значениях $R = 40...320$ мкм, а также резьбы [].

В.Я. Матюшенко и Н.Ф. Соловей [] установили значительное влияние водорода на износостойкость цилиндров и поршневых колец двигателей внутреннего сгорания. При этом первостепенное значение имеет концентрация водорода и его распределение в поверхностных слоях деталей. Г. Польцером и его сотрудниками были проведены тщательные исследования по определению концентрации водорода и его распределению в материале цилиндров двигателей внутреннего сгорания в зоне мертвой точки, как при ФАБО, так и без него.

Для исследования был применен разработанный в Центральном институте ядерных исследований (г. Россендорф, ФРГ) метод радиоактивного анализа с помощью ядерной спектроскопии, позволяющий оценить концентрацию водорода с точностью до 0,1 атомн. %. Исследования образцов, вырезанных из цилиндров двигателей, осуществлялись на глубину до 0,8 мкм. После наработки двигателем 212 ч при механически латунированных и нелатунированных поверхностях видно снижение концентрации водорода при латунировании цилиндров, что естественно должно отразиться на их износостойкости.

Влияние того или иного вида окончательной обработки поверхностей трения двигателей на их прочность, особенно усталостную, необходимо учитывать, когда имеется вероятность износа поверхностей в результате

фреттинг-коррозии. Прочность деталей может быть снижена при гальванических хромировании и никелировании, фосфатировании, оксидировании и других видах обработки.

Ранее было показано, что ФАБО цилиндров двигателей позволяет получить ряд экономических преимуществ по сравнению с окончательной обработкой зеркала цилиндра такими методами, как дробеструйная обработка, вибрационное упрочнение, жидкостное азотирование и др. ФАБО цилиндров сокращает время обкатки двигателя, а следовательно, уменьшает расход горюче-смазочных материалов, увеличивает ресурс двигателя и повышает надежность его работы.

Несмотря на имеющийся опыт использования ФАБО для цилиндров, до настоящего времени широкомасштабного применения эта технология не нашла ни в нашей стране, ни за рубежом. На это имеются две причины.

1. Существующие конструкции оснастки ФАБО цилиндров не обеспечивают необходимой производительности при массовом изготовлении цилиндров. Это связано с тем, что натирающими элементами (инструментом) являются всего лишь 1 ...3 латунных прутка диаметром 3.. 4 мм, что вынуждает выполнять несколько проходов инструмента, чтобы покрыть латунной пленкой всю поверхность зеркала цилиндра. Для этого требует пять и более минут на один цилиндр двигателя.

2. Разработанные технологии ФАБО цилиндров не дают необходимого упрочнения рабочей поверхности (зеркала) цилиндра, что не позволяет обеспечить его износостойкость на более длительный срок лужбы (в автомобильных двигателях, по данным немецких специалистов, до 70 тыс. км пробега). Наибольшее упрочнение стальной и чугуновой поверхности при ФАБО происходит тогда, когда между инструментом и обрабатываемой деталью имеется линейный контакт. Такой контакт был осуществлен проф. Г. Польцером. В его конструкции оснастки ФАБО цилиндров два латунных инструмента (прутка) во время работы вращаются; они установлены к поверхности зеркала цилиндра под углом в 45°. При таких условиях

происходит максимальное упрочнение металлических поверхностей при процессе ФАБО.

Таким образом, для совершенствования технологии ФАБО цилиндров необходимо было решить две задачи: повысить производительность процесса ФАБО и увеличить износостойкость цилиндров за счет более высокого упрочнения его рабочей поверхности под латунной пленкой. Кроме того, при решении этих задач потребовалось разработать новую технологическую жидкость, термически более стойкую, для производства ФАБО цилиндров, поскольку температурные условия при решении указанных задач были несомненно повышены.

В Горловском филиале Донецкого политехнического института доц. Б.В. Намаконовым была разработана новая оснастка для процесса ФАБО цилиндров, которая позволила сократить время обработки одного цилиндра до 20.. 30 с. В качестве способа ФАБО исследователь взял принцип хонингования, заменив керамические бруски в хонинговальной головке на латунные ролики, имеющие выступающие рабочие пояски. Ролики крепятся в центрах, что позволяет им вращаться вокруг своей оси при работе хонинговальной головки. Эта простая конструкция позволила решить принципиальные задачи по развитию технологии ФАБО цилиндров. Длина латунного ролика в три раза меньше, чем хонинговального бруска. Это дает возможность повысить давление на рабочую поверхность цилиндра и тем самым создать условия для интенсивного переноса материала (латуни) с ролика на цилиндр.

В таких условиях не требуется каким-либо образом производить зачистку окисной пленки как на зеркале цилиндра, так и на рабочих поясах роликов. Окисная пленка счищается под большим давлением самими роликами при их вращении с одновременным возвратно-вращательно-поступательным движением. Для получения хорошей латунной пленки достаточно всего двух-трех ходов хона, что вполне приемлемо по производительности при массовом изготовлении гильз цилиндров.

При работе хонинговальной головки с четырьмя роликами перенос материала происходит с 32-х рабочих поясков роликов — каждый ролик имеет 8 рабочих поясков.

Вторая задача была автоматически решена при решении первой. Новая конструкция инструмента обеспечила линейный контакт при натирании рабочей поверхности цилиндра, что позволило создавать высокую удельную нагрузку инструмента на материал цилиндра и упрочнять его поверхностный слой.

Новая технология ФАБО цилиндров была применена на Конотопском заводе по ремонту сельскохозяйственной техники. Была также разработана и новая технологическая жидкость для ФАБО, более стойкая при повышенных температурах.

Необходимо отметить еще одну работу по совершенствованию процесса ФАБО цилиндров двигателя. Г.И. Эжиев при содействии Министерства сельского хозяйства разработал и организовал производство специальных станков для ФАБО цилиндров двигателей. Станок (рис. 1.9) состоит из станины 1, узла 2 зажима обрабатываемых деталей, устройства 3 подачи технологической жидкости, суппорта 4 вертикальной подачи, шпинделя 5 со сквозным осевым отверстием для штока 6 пневмоцилиндра 7, закрепленного на суппорте 4 вертикальной подачи, узла Укрепления, рабочего инструмента 9, пульта 10 управления, устройства сигнализации максимального износа натирающих прутков, включающего микровыключатель 11, расположенный в пневмоцилиндре 7, и флажок 12, закрепленный на штоке 6 пневмоцилиндра.

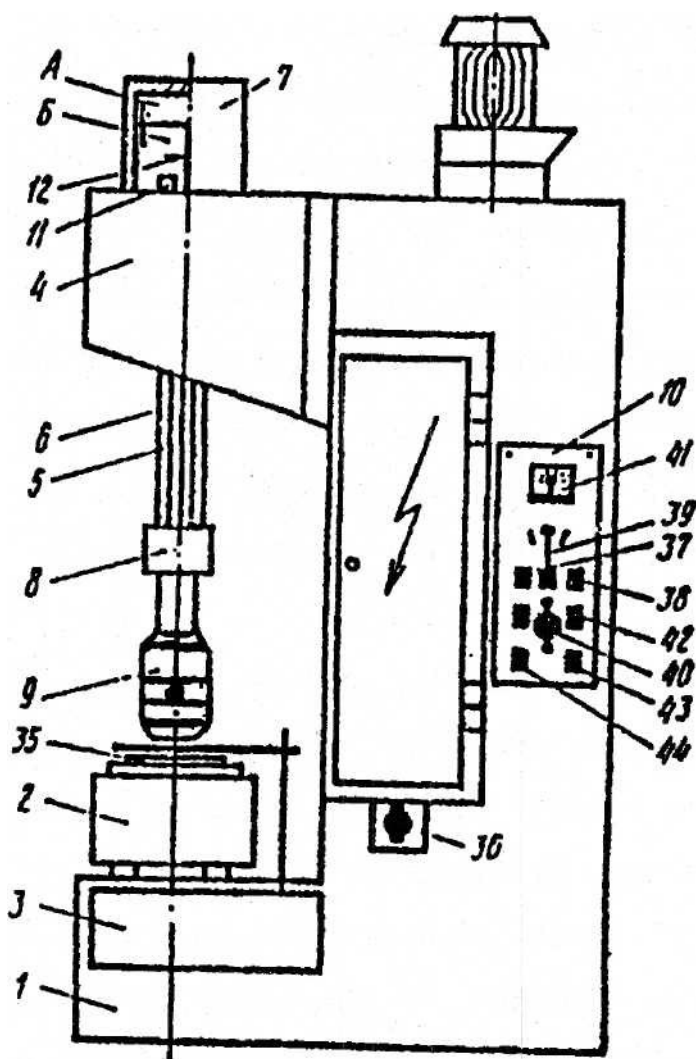


Рисунок 1.9- Станок для фрикционно-механического нанесения покрытий на внутренние цилиндрические поверхности

Рабочий инструмент включает в себя (рис. 8.33) корпус 13 с кольцевым упором 14 и крышкой 75 с упором 16, натирающие прутки 17, размещенные в направляющих 18 корпуса 13 и закрепленные в разжимных брусках 79, подпружиненных двумя кольцевыми пружинами 20 сжатия и имеющих конусную поверхность 27, стакан 22 с отверстиями 23 в нижней части под шариковые замки 24, контактирующий своей верхней донной частью 25 со штоком 6, толкатель 26 с конусной поверхностью 27 и радиальной канавкой 28 под шариковые замки 24 стакана 22, подпружиненный своим верхним торцом относительно крышки 75 корпуса 13 пружиной 31 (причем жесткость пружины 57 меньше жесткости пружины 30), конусную втулку 32 с конусной поверхностью 33 и кольцевой канавкой 34 под шариковые замки 24 стакана

22, concentrically positioned by its lower part between the housing 13 and the pusher 26, and the upper part — between the housing 13 and the cup 22.

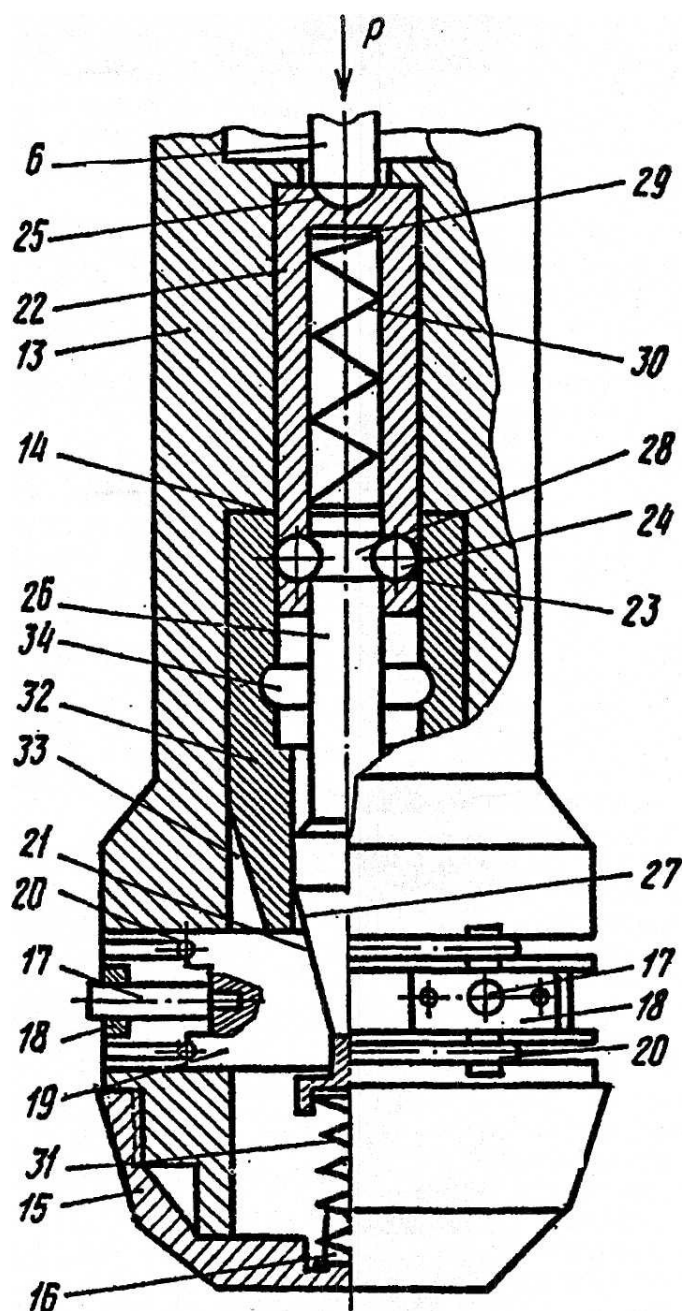


Рисунок 1.9- Рабочий инструмент станка для ФАБО цилиндров

In the initial position (disengaged) the processed part 55 is fixed in the clamping mechanism 2 of the processed parts, the mechanisms and devices of the machine are disengaged, the parts of the working instrument 9 are in the position shown in fig. 1.8, the main switch 36 is on.

При нажатии кнопки 37 "Ввод" пульта 10 управления включается механизм привода суппорта 4 вертикальной подачи, который движется вниз. В момент ввода натирающих прутков 77 рабочего инструмента 9 в отверстие обрабатываемой детали 55 кнопка "Ввод" отжимается и механизм привода суппорта вертикальной подачи отключается.

Нажимается кнопка 38 "Пуск", при этом включаются механизмы привода суппорта 4 вертикальной подачи и вращения шпинделя 5, устройство 5 подачи технологической жидкости. Рабочий инструмент осуществляет вращательное и поступательное (вниз) движения, технологическая жидкость подается в зону обработки.

Открывается кран 39 подачи сжатого воздуха в полость А пневмоцилиндра 7. Сжатый воздух по пневмопроводу (на рисунке не показан) поступает в полость А пневмоцилиндра 7. В результате (рис.1.9) шток 6 действует с усилием P , перемещает вниз стакан 22 и закрепленный в нем с помощью шарикового замка 24 толкатель 26, который, двигаясь вниз и сжимая пружину 57, обеспечивает радиальное перемещение разжимных брусков 79 с закрепленными в них натирающими прутками 77. Прутки движутся по направляющим 18 до полного контакта с поверхностью обрабатываемой детали 35 и создают заданное давление, при этом сжатие пружины 30 не происходит. Давление натирающих прутков 77 рабочего инструмента 9 на поверхность обрабатываемой детали 35 регулируется величиной давления сжатого воздуха, поступающего в полость А пневмоцилиндра 7 (рис. 1.8), с помощью воздушного редуктора 40 и контролируется манометром 41, расположенным на пульте 10 управления.

По мере износа натирающих прутков / 7 осевое перемещение толкателя 26 и сжатие пружины 31 увеличиваются до тех пор, пока не произойдет контакт нижнего торца толкателя 26 с упором 16 крышки 75. Это соответствует максимальной величине радиальной подачи разжимных брусков 19 и натирающих прутков 77 за счет осевого перемещения вниз

толкателя 26. При этом кольцевые канавки 28 и 34 располагаются в одной горизонтальной плоскости.

При дальнейшем действии происходит выдавливание шарикового замка 24 из кольцевой канавки 28 толкателя 26 и размещение его в кольцевой канавке 34 конусной втулки 32, которая перемещается вниз, обеспечивая дальнейшую радиальную подачу разжимных брусков 19 и натирающих прутков 17. При этом стакан 22 и закрепленная в нем с помощью шарикового замка 24 конусная втулка 32 перемещаются вдоль толкателя 26, сжимая пружину 30 до тех пор, пока не произойдут максимально заданные радиальная подача разжимных брусков 19 и износ натирающих прутков 17. В этот момент происходит контакт флажка 12 с микровыключателем 77, и сигнал о максимальном износе натирающих прутков 7 7 поступает на пульт 10 управления (сигнальная лампа 42).

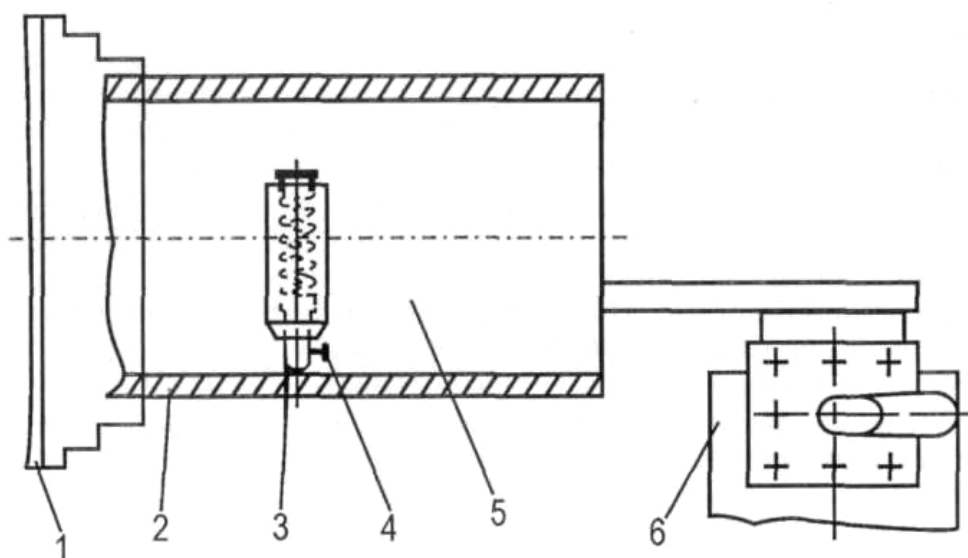
По завершении цикла обработки нажимается кнопка 43 "Конец цикла", расположенная на пульте 10 управления. В результате механизм приводов суппорта 4 вертикальной подачи и вращения шпинделя 5, устройство 3 подачи технологической жидкости отключаются. Одновременно переключается кран 39 подачи сжатого воздуха на полость Б пневмоцилиндра 7. Сжатый воздух по пневмопроводу (не показан) поступает в полость Б пневмоцилиндра 7. В результате шток б, двигаясь вверх, прекращает свое действие на стакан 22 рабочего инструмента 9. далее пружина 30 перемещает стакан 22 и закрепленную в нем с помощью шарикового замка 24 конусную втулку 32 в верхнее положение, при котором кольцевые канавки 34 и 28 располагаются в одной горизонтальной плоскости. Шариковый замок 24 устанавливается в кольцевой канавке 28 толкателя 26, шарикового замка 24, стакана 22 в верхнее исходное положение, а кольцевые пружины 20 сжатия обеспечивают свод разжимных брусков 19.

При нажатии кнопки 44 "Возврат", расположенной на пульте 10 управления, включается механизм привода суппорта 4 вертикальной подачи,

который, перемещаясь вверх, занимает исходное положение. Далее цикл повторяется.

На рис. 1.10 изображена схема фрикционного латунирования гильзы [2]. Держатель с латунным пруток закрепляют в борштанге, установленной в резцедержателе станка. В процессе натирания пруток трется по поверхности гильзы и перемещается вдоль нее. Гильза, закрепленная в патроне токарного станка, при этом вращается и в зону латунирования подается среда, состоящая из активатора и глицерина.

Режим латунирования прутковым инструментом следующий: окружная скорость поверхности детали $0,15 \dots 0,3$ м/с; удельное давление прутка $102 \dots 150$ МПа; продольная подача $0,1 \dots 0,2$ мм/об; рабочих ходов $1 \dots 2$; толщина покрытия при использовании латуни Л62 или ЛС59-1 — $2 \dots 3$ мкм, меди или бронзы — $1 \dots 2$ мкм.



1 —патрон токарный; 2 — обрабатываемая гильза; 3 —пруток латунный; 4 — держатель; 5 — борштанга; 6 — резцедержатель

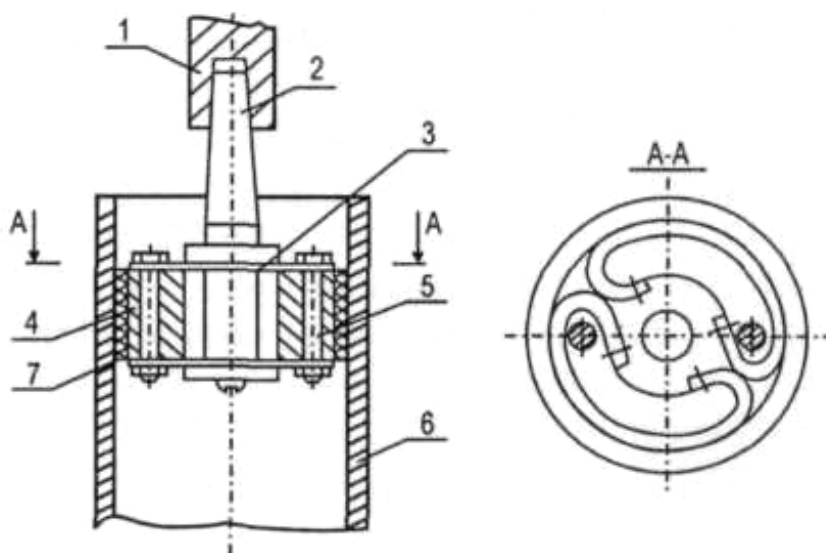
Рисунок 1.10- Схема фрикционного латунирования гильзы

Рассмотренные устройства для фрикционно-механического нанесения покрытий имеют существенные недостатки, заключающиеся в низкой производительности, нарушении равномерности покрытия и, следовательно, возрастании шероховатости поверхности. Для преодоления этих недостатков

разработан ряд устройств для фрикционно-механического нанесения покрытий.

Для увеличения производительности, в Кировоградском институте сельскохозяйственного машиностроения разработано устройство для фрикционно-механо-химического нанесения покрытий [], содержащее механизм вращения и натирающий узел, рабочая поверхность которого выполнена с чехлом из упругопористого материала. Натирающий узел выполнен в виде колодок, установленных шарнирно с возможностью перемещения за счет центробежных сил.

Устройство (рис. 1.11) содержит механизм вращения, 1, например, шпиндель радиально-сверлильного станка, приводной вал 2, соединенный жестко с дисками 3, между которыми установлен натирающий узел, выполненный в виде колодок 4 с осями 5, при этом один конец колодки 4 повторяет поверхность обрабатываемой детали 6. На колодки 4 устанавливаются чехлы 7 из упругопористого материала (например, войлока, фетра, асбеста и др.).



- 1 — механизм вращения; 2 — приводной вал; 3 — диск;
4 — натирающий инструмент; 5 — ось; 6 — поверхность
обрабатываемой детали; 7 — чехол

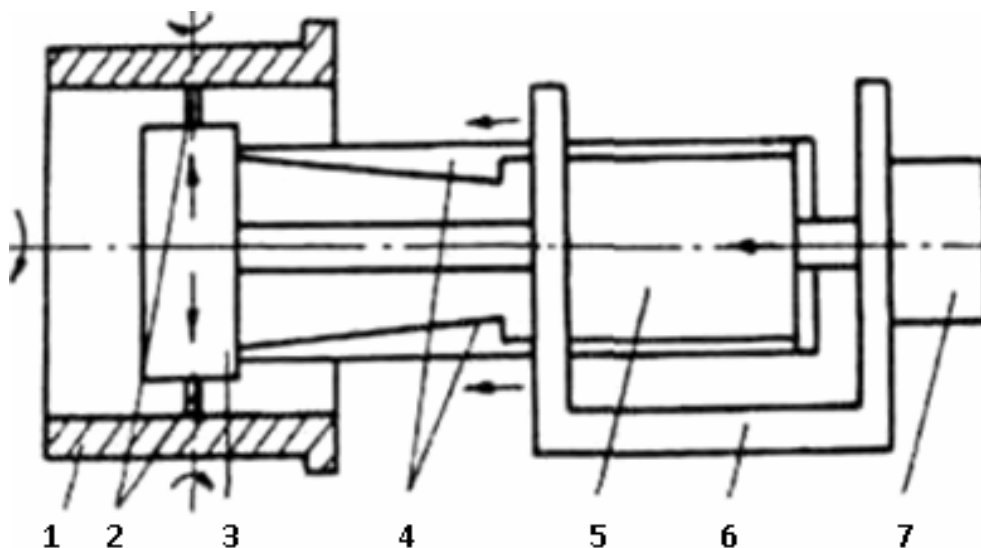
Рисунок 1.11- Схема устройства для латунирования гильз цилиндров

Крепление колодки 4 на оси 5 обеспечивает равномерное поджатие к обрабатываемой поверхности за счет центробежных сил.

Обрабатываемая деталь 6 устанавливается на столе расточного или сверлильного станка (на рис. 1.11 не показан). Устройство вводят до соприкосновения натирающего узла с рабочими поверхностями детали 6, включают механизм вращения, а затем механизм продольной подачи.

Вследствие наличия в зоне натирания активной технологической среды и упругопористого материала, выполняющего роль абразива, происходит удаление окисной пленки с поверхности детали, и они покрываются плотным, прочно сцепленным с основным материалом, металлом из раствора в виде сплошной пленки. Скорость нанесения покрытия $V=4\ldots6$ м/с, шероховатость не изменяется, производительность повышается в 2...3 раза.

Исследования, проведенные в Германии д. т. н. проф. Г. Польером, показали высокую эффективность технологий фрикционного латунирования гильз цилиндров ДВС.

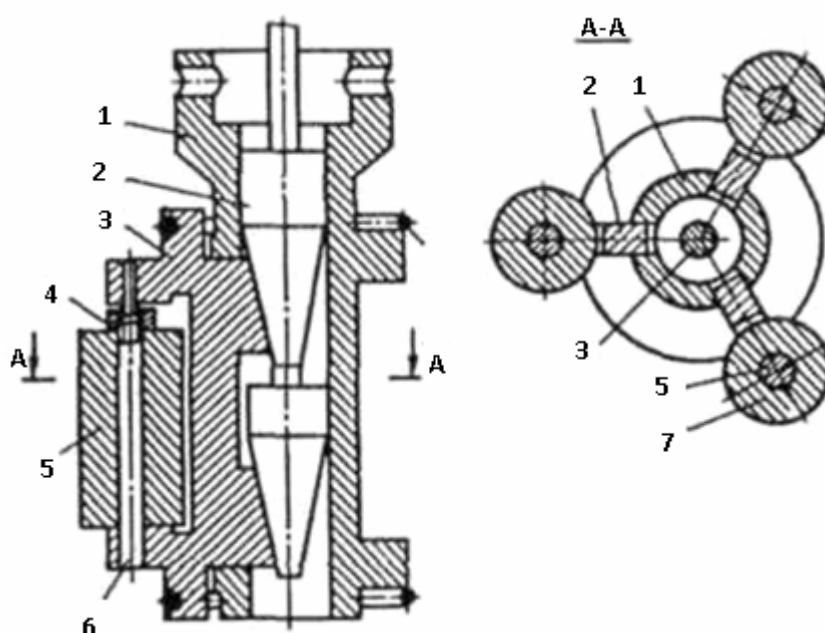


1 — гильза цилиндра; 2 — натирающие штифты; 3 — головка;
4 — клин (шпонка) для создания нагрузки; 5 — двигатель;
6 — оправка; 7 — пневматический цилиндр

Рисунок 1.12 - Внешний вид и принципиальная схема полуавтомата для фрикционного латунирования цилиндров двигателя вращающимся штифтом

Рассмотренные способы ФАБО натирием прутковым материалом имеют определенные недостатки: низкая производительность процесса, неравномерность покрытия по толщине, наличие больших нагрузок на инструмент и, как следствие, возникновение вибраций и шумов, интенсивное выделение тепла в зоне трения.

Повышения производительности процесса латунирования и упрощения конструкции инструмента разработано устройство на базе серийной хонинговальной головки (рис. 1.13), предназначенное для нанесения покрытий на внутренние поверхности деталей.



1- корпус устройства; 2 — конический шток; 3 — колодка; 4 — гайка; 5 — натирающие элементы; 6 — ось; 7 — кольцевая пружина

Рисунок 1.13 -Устройство для латунирования гильз цилиндров на вертикально-хонинговальном станке

Корпус 1 устройства имеет три радиальных паза, равномерно расположенных по окружности, с размещенными в них колодками 3, которые могут перемещаться в радиальном направлении. Для разжимания колодок служит конический шток 2. Обратный отжим колодок и фиксация их от выпадения в свободном состоянии осуществляется кольцевыми пружинами 7. На колодках с помощью осей 6 и гаек 4 установлены натирающие элементы 5, изготовленные из материала наносимого покрытия и имеющие

форму цилиндрических роликов. Ось 6 может свободно вращаться в отверстиях колодок 3.

Приспособление с помощью штифта присоединяется к хонинговальному станку. От пневматической системы станка к штоку 2 прикладывается нагрузка, под действием которой колодки 3 разжимаются, а натирающие элементы 5 прижимаются с рассчитанным усилием к обрабатываемой детали. Устройство совершает одновременно вращательное и возвратно-поступательное движения, как при хонинговании гильз. В результате возвратно-поступательного движения происходит скольжение натирающих элементов 5 и перенос материала покрытия на поверхность детали. Поскольку в процессе работы натирающие элементы постоянно обкатываются по поверхности детали, они изнашиваются равномерно и не утрачивают цилиндрической формы. Покрытие наносится за 10...20 двойных возвратно-поступательных ходов. При нанесении покрытия из латуни Л62 на поверхность гильзы цилиндров двигателя КамАЗ-740 получено увеличение производительности в 6...10 раз по сравнению с использованием устройств с прутковым материалом.

Таким образом, для ФАБО гильз цилиндров наиболее рационально разработка устройств на базе хонинговальных станков, когда вместо хонинговальных брусков или роликов, устанавливаются медьсодержащие пластины или ролики.

В работе [] приведены результаты исследования покрытий, полученных фрикционным и электрофрикционными способами. При электрофрикционном способе к детали подводится отрицательный полюс, а к фрикционному стержню - положительный полюс источника постоянного тока. Плотность тока составляет 30... 50 А/мм². Оказалось, что электрофрикционные пленки имеют меньшую пористость, большую прочность сцепления с основным металлом., а производительность процесса в 2...3 раза выше. Приложение к контакту фрикционный стержень-деталь напряжения обратной полярности практически не меняло свойств покрытия.

Способ нанесения металлических покрытий с помощью ВПЩ с использованием электрического тока предложен А. А. Абиндером []. Наносимые металлы или сплавы в виде стержней МП контактируют под током с напряжением 50... 60 В с ВПЩ, которая служит вторым электродом. Предполагается, что контакт ворсинок щетки с МП происходит в течение очень короткого времени и проволочки не успевают оплавляться. Стержень МП является неподвижным электродом, он нагревается до высокой температуры и переходит в пластическое состояние. ВПЩ захватывает концами ворсинок частицы размягчённого металла и наносит его натираем на обрабатываемую поверхность, которая не находится под током. Необходимая сила тока выбирается опытным путем. При нанесении тугоплавких металлов или сплавов рекомендуется поверхность изделий подогревать до 200... 300°С, что увеличивает прочность сцепления.

Способ ЭФП весьма напоминает электромеханический способ упрочнения деталей. При ЭФП также происходит пластическое деформирование поверхностного слоя гибким инструментом и разогрев поверхностных слоев за счет трения и тепла, выделяемого при подводе электрического тока. Очевидно, что дополнительный разогрев при подводе электрического слоя делает поверхностный слой более пластичным и борозды, которые оставляют ворсинки щетки, успевают деформироваться.

Толщина покрытия при ЭФП примерно в 2 раза больше, чем при ФП. Вопросы, связанные со свойствами покрытий, полученных при ЭФП, их структурой, прочностью сцепления и т.п., требуют дальнейших исследований.

1.4 Выводы и задачи исследований

Выводы:

1. Несмотря на многочисленные исследования, до настоящего момента нет единого мнения о преобладающем виде изнашивания внутренней рабочей поверхности гильзы цилиндра. Ресурс капитально отремонтированного двигателя составляет 35...40% от ресурса нового

двигателя. Интенсивность изнашивания гильз цилиндров после капитального ремонта в 2...3 раза выше, чем у новых гильз.

2. Для повышения ресурса гильз цилиндров ДВС при изготовлении и ремонте, как правило, увеличивают твердость рабочей поверхности и её маслостойкость, а также наносят антифрикционные покрытия. Для увеличения твердости применяются различные методы термообработки и нанесения твердых материалов. Высокая твердость поверхности вызывает большие трудности при последующей механической обработке.

3. Применение методов ФАБО дает снижение износа до 40% в смазанных парах трения из стали и чугуна; устранение склонности к схватыванию; применение этого способа в процессе приработки; экономия энергии вследствие уменьшения трения;.

4. Электрофрикционное латунирование отличается большей производительностью в результате более высокого КПД, более плотное и износостойкое покрытие. Однако требуется дальнейшее изучение процесса.

5. ФАБО гильз цилиндров наиболее рационально разработка устройств на базе хонинговальных станков, когда вместо хонинговальных брусков или роликов, устанавливаются медьсодержащие пластины или ролики.

В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы является повышение ресурса гильз цилиндров путем обоснования параметров электрофрикционного латунирования.

Исходя из указанной цели исследования, его основными задачами являются:

1. Провести микрометраж партии гильз цилиндров для выявления дефектов и закономерностей износа.

2. Исследовать влияние различных факторов процесса электрофрикционного латунирования на производительность и качество обрабатываемой поверхности, а также обосновать рациональные режимы обработки.

3.Разработать технологию электрофрикционного латунирования и конструкцию устройств для его осуществления.

4.Провести сравнительные испытания на износостойкость гильз цилиндров, обработанных электрофрикционного латунирования и фрикционного латунирования.

5.Провести оценку технико-экономической эффективности предлагаемого метода.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2. К вопросу об определении толщины упрочненного слоя

Электрофрикционное латунирование позволяет не только наносить слой латуни на поверхность детали но и одновременно упрочнить поверхность за счет наклепа и термического изменения структуры материала.

При электрофрикционном латунировании большое влияние на производительность и структуру и, соответственно, свойства слоя поверхности детали дает температура в контакте «поверхность -инструмент», появляющаяся от превращения механической и электрической энергии в тепло.

Глубина проникновения тепла в общем случае определяется из дифференциального уравнения теплопроводности [30, 63,149] .

Тепловой баланс контакта указывает, что в общем тепло при электрофрикционном латунировании состоит из теплоты от воздействия электрического тока Q_1 и теплоты трения инструментальной поверхности о поверхность подлежащую обработке Q_2 :

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (2)$$

Количество теплоты от воздействия электрического тока Q_1 равно:

$$Q_1 = 0,24 \cdot \eta \cdot I \cdot U \cdot \tau, \quad (3)$$

где η – коэффициент потерь тока в цепи;

I – рабочая сила тока в цепи, А;

U – рабочее напряжение в цепи, В;

τ – время обработки, с.

Величина коэффициента потерь тока в цепи η определяется по формуле:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5, \quad (4)$$

где $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4, \eta_5$ – коэффициенты потерь тока соответственно во цепи трансформатора, в токоподводящих кабелях, в местах контакта кабеля и наконечников, в оснастке технологической и инструментальной.

Теплота трения инструментальной поверхности о поверхность подлежащую обработке определяется по формуле:

$$Q_2 = \frac{p \cdot v \cdot f}{42,7}, \quad (5)$$

где p – нормальное давление в контакте при обработке (конструкционных сталей $p \approx 0,03...0,05$ ГПа);

v – скорость инструмента, см/с;

f – коэффициент трения в контакте ; для среднеуглеродистой стали при средних условиях коэффициент $f = 0,65...0,75$; для контакта чугуна - латуни $f = 0,25...0,35$;

Тогда всего в контакте выделится:

$$Q = 0,24 \cdot \eta \cdot I \cdot U \cdot \tau + \frac{p \cdot v \cdot f}{42,7}, \quad (6)$$

Объем тепла Q_T , которое поглощается в высокотемпературном слое поверхностей детали за время обработки τ :

$$Q_T = (0,24 \cdot \eta \cdot I \cdot U \cdot \tau + \frac{p \cdot v \cdot f}{42,7}) K \cdot \mu, \quad (7)$$

где K – коэффициент поглощения теплоты инструментом (в среднем $K=0,4...0,5$);

μ – коэффициент поглощения теплоты деталью ($\mu \approx 0,5...0,6$);.

Исходя из теплового баланса другой стороны:

$$Q_T = \delta \cdot c \cdot v \cdot B \cdot \rho \cdot T_{\phi}, \quad (8)$$

где c – удельная теплоемкость металла, Дж/(г·°C);

B – ширина контакта, мм;

ρ – плотность, г/см³;

T_{ϕ} – температура фазового превращения металла (точка A_{c3}), °C.

δ –глубина зоны фазового превращения металла, мм.

Приравняв значения Q_T :

$$\delta \cdot c \cdot v \cdot B \cdot \rho \cdot T_{\phi} = (0,24 \cdot \eta \cdot I \cdot U \cdot \tau + \frac{p \cdot v \cdot f}{42,7}) K \cdot \mu, \quad (10)$$

Выражение (10) справедливо для методов получения термически измененного слоя и дает возможность рассчитать значения δ , U , I , P , τ , например, толщина измененного слоя будет равна:

$$\delta = \frac{(0,24 \cdot \eta \cdot I \cdot U \cdot \tau + \frac{p \cdot v \cdot f}{42,7}) K \cdot \mu}{c \cdot v \cdot B \cdot \rho \cdot T_{\phi}}, \quad (11)$$

Выражение (11) дает возможность рассчитать значения δ .

2. К выбору материала инструмента для электрофрикционного латунирования

Как показывают предыдущие исследования ряда авторов всем требованиям к инструменту в наибольшей степени отвечают латуни Л63 и ЛС 59-1, в меньшей — медь, бронза.

При попытке нанести покрытие из таких пластичных материалов, как олово и свинец, оказалось, что они создают хороший контакт с обрабатываемой поверхностью, но не могут произвести ее механическую очистку из-за своей низкой прочности, быстро теряют первоначальную форму, текут, срезаются деталью. Получить качественное покрытие из этих высокопластичных материалов не удалось.

Латунь представляет собой сплав на основе металлов: меди и цинка. Содержание цинка в сплаве может быть от 5 до 45%. Цинк дешевле, по

сравнению с медью, по этой причине введение его в сплав не только улучшает механические, антифрикционные и технологические свойства, а ещё и снижает стоимость латуни.

Латунь можно назвать самым диковинным сплавом древности. В Римской империи производство сплава началось в I веке до нашей эры. Среди драгоценных металлов латунь занимала третье место после серебра и золота. На Востоке о сплаве известно с VIII века. Источником меди, свинца и серебра считается рудник Анарак, который находится в северном Иране. Есть данные об использовании латунных сплавов в VIII-IX столетиях на Северо-Западном Кавказе. По «шелковому пути» жители Северного Кавказа могли купить латунь из Малой Азии. В Англии в 1781 году латунь была изготовлена при сплавлении меди с цинком.

В зависимости от химического состава различают:

- простые (двухкомпонентные) латуни. В их составе только медь и цинк. Маркируются простые латуни буквой «Л» и цифрой, которая обозначает соотношение меди в процентах. Например: в состав Л85 входит 85% меди и 15% цинка.
- специальные (многокомпонентные) латуни. Они содержат медь, цинк, свинец, алюминий, железо и другие элементы, улучшающие основные свойства материала. Такие элементы называются легирующими. Маркируются специальные латуни буквой «Л», а также буквами и цифрами, обозначающими легирующие дополнительные элементы и их количество в процентах. Например: ЛА77-2 содержит 77% меди, 2% алюминия и 21% цинка.

Специальные латуни подразделяются на классы, названные по главному легирующему элементу (марганцевые, алюминиевые, кремнистые, оловянные, никелевые, свинцовые).

По степени обработки латуни бывают:

- деформируемые (латунная лента, проволока, труба, латунный лист);
- литейные (арматура, подшипник, детали приборов).

Существует также классификация по количеству цинка в сплаве:

- 5-20% цинка – красная латунь (томпак);
- 20-36% цинка – желтая латунь.

Основные свойства латуни.

Латуни хорошо поддаются обработке давлением. Механические свойства сравнительно высокие, коррозионная устойчивость удовлетворительная. Если сравнивать латуни с бронзой, то их прочность, устойчивость к коррозии и антифрикционные свойства меньше. Они не очень устойчивы на воздухе, в соленой морской воде, углекислых растворах и растворах многих органических кислот.

Латунь красивого цвета и в сравнении с медью обладает лучшей коррозионной стойкостью. Однако с увеличением температуры растёт и скорость коррозии. Наиболее заметен этот процесс в тонкостенных изделиях. Спровоцировать коррозию могут: влажность, следы аммиака и сернистого газа в воздухе. Для предупреждения этого явления латунные изделия подвергают низкотемпературному обжигу после обработки.

Практически все латуни при понижении температуры (до гелиевых температур) остаются пластичными и не становятся хрупкими, что даёт возможность использовать их в качестве хорошего конструкционного материала. За счёт более высокого показателя температуры рекристаллизации (300-370°C), чем у меди, при высокой температуре ползучесть латуней будет меньше. При средней температуре (200-600°C) возникает явление хрупкости, так как нерастворимые при невысоких температурах примеси (например: свинец, висмут) образуют хрупкие

межкристаллические прослойки. При повышении температуры снижается ударная вязкость латуней. В сравнении с медью показатели электропроводности и теплопроводности латуней ниже.

Рассмотрим, как легирующие элементы оказывают влияние на свойства латуней.

Олово значительно увеличивает антикоррозийные свойства в морской воде, повышает прочность сплава. Латунь с оловом часто называют морскими. Марганец увеличивает прочность, сопротивление коррозии. Марганцевые латуни часто сочетают с оловом, железом и алюминием.

Никель повышает коррозионные свойства и прочность в различных средах. Кремний понижает прочность и твердость, а также улучшает свариваемость. Латунь, содержащая кремний и свинец, обладает хорошими антифрикционными свойствами. Такими сплавами можно заменить более дорогостоящие, например оловянные бронзы. Свинец значительно улучшает обрабатываемость резанием, но в то же время ухудшает механические свойства. Свинцовые латуни называют автоматными, так как они обрабатываются на станках-автоматах. Данный сплав является самым распространённым. Алюминий снижает летучесть цинка, за счёт образования на поверхности расплавленной латуни защитной плёнки (оксида алюминия).

Латунь Л63 – это двухкомпонентный простой сплав, состоящий из меди на 62-65%, цинка на 34,22...37,5% и примесей до 0,5%. В качестве примесей в сплаве могут присутствовать: железо, фосфор, олово, свинец. Это один из наиболее распространённых сплавов латуни.

Основные свойства. Латунь Л63 имеет однофазную структуру. Присутствие цинка в составе сплава обеспечивает лёгкость механической обработки и невысокую стоимость материала. Данный вид латуни также может маркироваться, как Л63А, обладающий антимагнитными свойствами. [Читать статью про латунь](#)

Такие свойства, как: предел текучести, твёрдость, предел прочности, пластичность у латуни Л63 выше, чем у меди. Сплав обладает хорошими литейными свойствами. Его можно использовать для изготовления отливок. Л63 как и медь, не обладает антифрикционными свойствами. Горячий отжиг позволяет увеличить устойчивость материала к износу. Сплав отлично поддаётся обработке давлением: глубокой вытяжке, прокатке, чеканке, изгибу без существенных последствий, волочению.

Сплав Л63 обрабатывается резанием хуже, чем ЛС59 – 1, но лучше, чем дюралюминий, медь и большинство сплавов бронз. Токарной обработке он поддаётся без проблем.

Температура плавления Л63 оставляет 906 °С. Для проведения плавки латуни необходимо использовать специальную систему вытяжек и вентиляции. В процессе плавления выделяются вредные вещества, опасные для здоровья человека, а составляющие сплава способны воспламенятся на воздухе (к примеру, цинк). Сплав поддаётся газовой и электрической сварке, подвергается пайке твёрдыми и мягкими припоями.

Антикоррозионные свойства. Латунь Л63 обладает хорошими антикоррозионными свойствами в пресной и морской воде, в сухом паре, спиртах, антифризах и фреонах, а также в воздушной среде . Стойкость к коррозии теряется после обработки резанием и обработки на станках. Это происходит в связи с нарушениями кристаллической структуры компонентов сплава и остатком напряжения металла.

Латунь Л63 чувствительна к коррозионному растрескиванию. Этот процесс могут спровоцировать такие факторы, как следы аммиака, наличие влаги и сернистого газа в воздухе. Это сезонное явление, зависящее от влажности. Его интенсивность в разные времена года неодинакова. Отжиг при низком температурном режиме позволяет предотвратить растрескивание изделий из латуни Л63. Материал детали должен иметь способность

образовывать ювенильную поверхность после того, как будет разрушена окисная пленка. Прочность сложных окислов определяет производительность процесса и может стать причиной невозможности его осуществления. Этим требованиям отвечают углеродистые стали и, в меньшей степени, легированные стали. Чугун также поддается латунированию, но при этом сказывается отрицательное влияние графита, препятствующего контакту чистых металлов. Рабочее давление должно обеспечивать разрушение окисных пленок и очистку обрабатываемой поверхности.

Скорость скольжения при трении способствует разрушению окисных пленок и их удалению, нагреву зоны трения, повышению пластичности инструмента и формированию контакта. Она определяет производительность процесса и качество покрытия. При чрезмерно высокой скорости инструмент не успевает внедряться во впадины поверхности и покрытие может оказаться не сплошным, кроме того, технологическая жидкость при большой скорости скольжения может потерять вязкость и рабочие свойства [14].

Исследованиями [14] было выявлено, что ФАБО не подвергаются хромированные детали, покрытые никелем и изготовленные из алюминиевых сплавов и некоторых других металлов и сплавов, окисные пленки которых обладают высокими механическими свойствами или способностью мгновенно восстанавливаться после разрушения. Не подвергаются также ФАБО и стальные поверхности с оксидными, фосфатными или какими-либо другими пленками .

1.3 Выбор рабочей жидкости

Литературно-патентный анализ имеющихся составов технологических жидкостей позволил сформулировать для них основные функциональные требования. Технологические жидкости должны содержать в своем составе:

1) поверхностно-активные вещества в количестве, позволяющем разрыхлять окисные пленки и пластифицировать обрабатываемую поверхность и натирающий инструмент;

2) органические материалы, способные при взаимодействии с другими компонентами или в процессе нанесения к полимеризации и

образованию на поверхности медьсодержащего покрытия полимерной пленки;

3) соединения металлов (в основном пластичных) для получения композиционных покрытий с заданными свойствами (металлоплакирующие среды). Компоненты среды должны находиться в растворенном виде для обеспечения хорошей транспортировки состава подающими устройствами в зону обработки, для чего необходим соответствующий универсальный растворитель.

К техническим жидкостям предъявляется еще ряд технологических требований: оптимальная вязкость, безопасность использования, стабильность, низкая коррозионная активность и др.

Главным критерием качества технологической среды является комплекс триботехнических свойств покрытий, получаемых с ее использованием. Эти свойства, в свою очередь, оцениваются по следующим основным показателям: равномерности образующихся покрытий, маслостойкости (пористости), шероховатости поверхности, толщине покрытия, износостойкости

В настоящее время разработаны технологические жидкости, в определенной степени удовлетворяющие предъявляемым требованиям.

С целью повышения скорости обработки С.А. Тережкиным и О.В. Чекулаевым был разработан новый состав рабочей среды повышенной вязкости [14]. Полученный состав эффективно удаляет окисные пленки на углеродистой и легированной сталях, отличается повышенной вязкостью и хорошо удерживается на обрабатываемой поверхности при скоростях скольжения до 1,0... 1,5 м/с.

Для ФАБО деталей из жаропрочных сталей и сплавов указанными авторами был разработан новый, более эффективный состав технологической жидкости.

Технологическая жидкость должна пластифицировать материал инструмента для создания тонкого поверхностного слоя, разрыхлять окисные пленки на обрабатываемой поверхности, предохранять зону трения от возможного перегрева. Она не должна оказывать коррозионного действия на обрабатываемую деталь []. Первоначально в качестве технологической жидкости применялся глицерин. Однако при обработке деталей из легированных сталей глицерин не способен разрыхлить и восстановить более плотные и сильно связанные с основным металлом сложные окислы легированных сталей, состоящих из соединений хрома, кремния, никеля, молибдена, титана и других элементов. Только введение в глицерин в качестве флюсующей добавки соляной кислоты (на 2 части глицерина 1 часть 10-процентного раствора соляной кислоты) позволило получить и на легированных сталях качественное латунное покрытие.

Такой состав будет использовать и мы.

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа экспериментальных исследований

В соответствии с поставленными задачами при выполнении работы проводились экспериментальные исследования с целью проверки достоверности теоретических предпосылок и установления характера влияния факторов на процесс электрофрикционного латунирования.

В программу экспериментальных исследований были включены следующие вопросы:

1. Проведение микрометража партии гильз цилиндров
2. Исследование влияния отдельных факторов на процесс обработки.
3. Исследование влияния параметров обработанных электрофрикционным латунированием на микрогеометрию и на некоторые физико-механические свойства поверхности.
4. Провести сравнительные испытания на износостойкость гильз цилиндров, обработанных электрофрикционного латунирования и фрикционного латунирования.

3.2 Методика экспериментальных исследований

Как показали многочисленные исследования долговечность пары поршневое кольцо - гильза цилиндра в значительной степени зависит от физико-механических свойств и микрогеометрии поверхностей трения. Поэтому изучение этих параметров при исследовании электрофрикционного латунирования является важной задачей.

Любой способ обработки можно оценить несколькими показателями, характеризующими этот способ. В качестве показателей контроля при оценке метода электрофрикционного латунирования были использованы:

- величина упрочнения поверхности;
- производительность латунирования;
- износостойкость обработанной поверхности.

Исходя из проведенных теоретических исследований и обзора научно-технической литературы, были выделены несколько факторов, влияющих на процесс анодно-механического хонингования:

- сила тока;
- напряжение;
- удельное давление инструментов-брусков.

Электрод-инструменты были изготовлены из латуни ЛС-63 (ГОСТ 15527-78).

Образцы и бруски перед экспериментом промывались ацетоном, просушивали в шкафу при температуре 60...80°C в течении 15...20 минут, и взвешивались на весах ВЛР-200 (с точностью $\pm 0,1$ мг). После обработки бруски промывались горячей водой, затем ацетоном и снова взвешивались.

Удельный износ брусков оценивался количеством металла (в граммах) снятого за единицу времени:

$$M = \frac{Q_M}{T_O}, \quad (3.1)$$

где Q_M - масса изношенного металла за время обработки, г;

T_O - время обработки, мин.

Гильзы цилиндров перед экспериментами тщательно очищались от загрязнений и подвергались микрометрированию. Затем гильзы обрабатывались электрофрикционным способом на различных режимах.

Толщину латунного покрытия определяли измерением диаметров гильз в трех плоскостях и пяти сечениях, индикаторным нутромером НИ 50-100-1 ГОСТ 868-82, с ценой деления 0,001 мм до и после латунирования.

Объем нанесенного металла определялся по формуле:

$$V_m = \frac{\pi * L(D_1^2 - D_0^2)}{4000}, \quad (3.2)$$

где L - длина обработанного цилиндра, мм;

D_0 - диаметр отверстия цилиндра до обработки; мм;

D_1 - диаметр отверстия после обработки, мм.

Шероховатость поверхности определяли по профилограммам, полученным на профилографе-профилометре Mitutoyo SJ-201P (Япония) до и после латунирования. Шероховатость замеряли в двух плоскостях и пяти сечениях в местах замера диаметра. Перед измерением диаметров и шероховатости обработанные гильзы промывались в горячей воде 150...60°C и просушивались в шкафу при температуре 60...80 °C в течение 15...20 минут.

Скорость возвратно-поступательного движения принята минимальной (8,1 м/мин) с целью снижения инерционной нагрузки на привод. Для установления и контроля значения частоты вращения инструмента (фактора X2) был использован магнитный тахометр ИО-30 с точностью 2%.

Значение силы тока и напряжение устанавливали по амперметрам и вольтметрам, выполненных по ГОСТ 8711-60 (точность 1,5%).

Удельное давление электрод-инструмента на деталь при обработке гильз определялась по формуле []:

$$P = \frac{S_{\text{ц}} \cdot p_{\text{ц}} \cdot f}{F_{\text{к}} \cdot \text{tg}(\alpha + \theta)}, \quad (3.3)$$

где $S_{\text{ц}}$ - площадь поршня, м²;

$p_{\text{ц}}$ – давление сжатого воздуха в цилиндре, МПа;

f – передаточное отношение сил от штока цилиндра к пальцу толкающему конусный валик головки;

$F_{\text{к}}$ – площадь брусков рабочей поверхности, м²;

α – угол наклона образующей конуса к оси конусного валика;

θ – угол трения материалов конуса и конусного валика.

Давление сжатого воздуха в цилиндре $p_{\text{ц}}$ контролировали по манометру.

3.2.1 Объект исследований

В качестве объекта для исследований процесса электроэрозионно-химико-механического хонингования были использованы гильзы цилиндров двигателя ЗМЗ-511.10 в виду широкого использования автотранспорта с этим двигателем. Кроме того, эти гильзы имеют небольшие размеры, что сокращает трудоемкость и стоимость экспериментальных исследований.

Гильзы цилиндров ЗМЗ-511.10 изготовлены из нетермообработанного чугуна марки ИЧГ-33М твердостью HB-217-241. Химический состав чугуна в %: С - 3,0...3,8; Мп - 0,5...0,5; Si - 0,5...3,0; Ni –до 0,10; Cr -0,5...0,6; Р- 0,2...0,4; S до 0,12; Cu – 0,5...0,8 []. Предел прочности чугуна при растяжении - 240 МПа, при изгибе - 440 МПа.

3.2.2 Описание установки для лабораторных исследований электрофрикционного латунирования

В связи со значительной трудоемкостью, длительностью и стоимостью экспериментальных исследований в производственных условиях большой интерес представляют лабораторные методы изучения.

Общий вид установки приведен на рисунке 3.1. Исследования проводились на модернизированном вертикально-хонинговальном станке ЗБ833, дополненным источником постоянного тока, токоподводами, электроизмерительной и коммутационной аппаратурой, технологической оснасткой. В кинематическую схему базового станка изменения не вносились.



а) электрический щит установки



б) механическая часть

Рисунок 3.1 – Общий вид установки анодно-механического хонингования

Станок оборудован пневмоцилиндром, который работает от пневмосети лаборатории через пневмокран и редуктор с манометром.

Для обеспечения подвода электрического тока было разработано, изготовлено и смонтировано токоприемное устройство на кронштейне привода хонинговального станка. Устройство состоит из щеточного узла и медного кольца, напрессованного на вал пневмоцилиндра. Для обеспечения надежного токоподвода пневмоцилиндр соединен с хонголкой гибкими токопроводящими шинами.

На столе станка установлен кондуктор с кожухом на стальном основании. Кондуктор покоится на текстолитовом листе и крепится к столу с

помощью прижимов через текстолитовые бруски, что обеспечивает электроизоляцию кондуктора. Крепление обрабатываемой гильзы осуществляется ее прижимом изолированными язычками через токоподводящее кольцо, которое соединено с положительным полюсом источника тока. Кожух кондуктора имеет фартук, по которому рабочая жидкость стекает обратно в бак.

Напряжение из силовой сети через выключатель и предохранители подается на первичную обмотки блока выпрямителей ВСГ-3А. Выпрямители соединены в батарею, что позволяет регулировать выходное напряжение батареи, как изменением количества рабочих источников, так и напряжением каждого выпрямителя путем перестановки перемычек.

Для измерения величины технологического тока установлены вольтметры.

Регулирование силы тока в широких пределах осуществляется реостатом R4. Измерение силы тока производится с помощью амперметров с пределами измерения 500А, 300А, 200А, 100А и 800А. Для повышения точности измерения значений величин тока и напряжения используется шлейфовый осциллограф Н-115 с системой шунтов и гальванометров.

В качестве инструмента использовалась модернизированная стандартная хонинговальная головка (рисунок 3.2). Для предотвращения контакта корпуса головки на ее корпусе закреплены текстолитовые пластины. На корпусе установлены катодные пластины для возможности изменения зазора между корпусом хонинговальной головки и обрабатываемой поверхностью. Бруски–электроды установлены на державке из электроизоляционного материала. Подвод тока к металлическим брускам выполнен отдельным токопроводом. Корпус головки электрически изолирован от поводка пластиковой втулкой и подвод тока на корпус головки осуществляется отдельным проводом.



Рисунок 3.2 – Общий вид головки

Перед обработкой все бруски закреплялись на головке, которая устанавливалась на специальной оправке. Затем поверхность брусков протачивалась на токарном станке до выведения следов необработанной поверхности

3.2.3 Методика определения микротвердости поверхностного слоя

Испытания проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 9450-76 на приборе ПМТ-3 при нагрузке на индентор 0,98 Н. Перед измерениями поверхность шлифа тщательно полировали и обезжировали. Расстояние от края образца и между соседними отпечатками составляло не менее двух длин диагоналей большего отпечатка[40].

Значение микротвердости вычисляли по формуле:

$$HV=1,854 \cdot P/d^2, \quad (3.4)$$

где HV – твердость;

P - номинальная нагрузка (в течение 10...15с) к алмазному наконечнику (четырёхгранная пирамида с квадратным основанием), Па;

d - среднеарифметическое значение длин обеих диагоналей отпечатка, измеренная с помощью фотоэлектрического окулярного микрометра ФОМ -2-16, мм.

Количество шлифов готовили из расчета по 3 штуки на каждый эксперимент. На каждом шлифе повторность замеров трехкратная, после чего выводилось ее среднее арифметическое значение. Затем по полученным данным строили графики $HV=f(h)$, где h - расстояние от края образца (мм).

3.2.4 Методика исследования микрорельефа поверхности

Поверхности, полученные при электроэрозионно-химико-механической обработке, представляют собой совокупность большого числа лунок, перекрывающих друг друга и нерегулярно расположенных в пространстве.

При исследовании микрорельефа поверхности фиксировали следующие параметры:

- высоту неровностей профиля R_z и $R_{\max}$;
- глубину лунок h_L ;
- диаметр лунок d_L ;
- опорную длину профиля t_p .

Измерения шероховатости проводили на профилографе-профилометре Mitutoyo SJ-201P (Япония) (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Общий вид профилометра Mitutoyo SJ-201P.

Этот прибор SJ-201P оценивает различные параметры шероховатости, имеет широкий измерительный диапазон равный 350 мкм (от -200 мкм до +150 мкм) и отображает структуру поверхности с использованием различных параметров шероховатости..

3.2.5 Методика лабораторных испытаний на износостойкость

Для исследования влияния анодно-механического хонингования на триботехнические характеристики обработанных поверхностей проводились сравнительные испытания образцов обработанных методом электрофрикционного латунирования и методом фрикционного латунирования.

Анализ лабораторных исследований износостойкости показал, что наиболее полно эксплуатационным показателям гильз цилиндров соответствуют следующие характеристики поверхности: время приработки, интенсивность износа приработанной поверхности и контртела.

Целью триботехнических испытаний образцов, обработанных различными методами являлось определение:

1. Интенсивности изнашивания.
2. Времени приработки.

Лабораторные испытания проводили на машине трения 77 МТ-1 (рисунок 3.4) , что позволяет воспроизвести реверсивный характер движения и, использовать образцы, изготовленные непосредственно из серийных гильз и поршневых колец.

Испытания пары образец – контртело проводили при скорости скольжения 0,026...0,107 м/с, частоте 100...400 двойных ходов в минуту. В качестве смазки использовали моторное масло М-8В (ГОСТ 10541-78), которое подавалось в зону трения в количестве 1 капля смазки на 200 метров пути трения. Именно такое количество смазки соответствует режиму граничной смазки, при работе автомобильного двигателя на холостом ходу с интенсивным изнашиванием гильзы и поршневого кольца [].

За образец были взяты сегменты размером 60×25×5 мм, вырезанные из гильзы цилиндров двигателя ЗМЗ-511.10. Контртелом служили сегменты поршневого кольца (использовалось верхнее поршневое кольцо – чугунное с покрытием гладким хромом и без него) длиной 10 мм и толщиной 2 мм, соответственно площадь трения контакта составила 20 мм².



Рисунок 3.4 – Общий вид машины трения 77 МТ-1.

Испытания на износостойкость проводились в два этапа. На первом этапе проводили ступенчатое нагружение пары удельными нагрузками 0,5; 2,5; 4 и 5,5 МПа. Удельная нагрузка 0,5 МПа соответствует давлению поршневого кольца на стенку гильзы от его упругости []. Давление 2,5 МПа соответствует режиму горячей обкатки без нагрузки, давление 4 МПа - горячей обкатки с нагрузкой, а давление 5,5 МПа - работа при номинальной нагрузке. Длительность каждой ступени 15 мин. В каждом опыте окончание периода приработки контролировалось по стабилизации температуры. После этого снимали профилограммы дорожек трения и определяли износ образца и контртела каждые 15 мин. Износ оценивался гравиметрическим способом с помощью весов ВЛР-200 с ценой деления 0,1 мг. Перед взвешиванием образцы и контртела промывались в бензине Б-70 и ацетоне, а затем высушивались в сушильном шкафу при температуре 60-80 °С в течении 30-40 минут. После чего снова устанавливались на машину трения, причем приработанные пары не обезличивались.

Каждый опыт повторялся 3 раза. Ошибка измерений не превышала 5%, при доверительной вероятности 0,95. Затем строили графики зависимости износа от времени. На втором этапе проводились 40-е часовые испытания

при нагрузке 5,5 МПа. Первые 3 часа испытаний износ замерялся каждые 20 мин., а затем каждые 5 час.

3.2.6 Методика обработки результатов и точность измерений

Данные микрометража и других измерений обрабатывались методами математической статистики []. Чтобы определить закон распределения его параметров, статистический ряд разделялся на интервалы и был представлен в виде графика. Параметры закона распределения определялись по следующим формулам:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (\bar{x}_i - M)^2 \times n_i}{n}}, \quad (3.5)$$

где σ - среднеквадратичное отклонение;

$\bar{x}_i$ - среднее значение интервала;

n_i - число вариантов в интервале;

n - общее число вариантов в ряду;

M - среднеарифметическое значение ряда;

k - число интервалов.

Математическое ожидание определялось из выражения:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{x}_i n_i}{n}, \quad (3.6)$$

где m - математическое ожидание.

Проверка соответствия выбранного закона статистическому распределению проводилась по критерию Пирсона:

$$\chi^2 = \sum \frac{(m_i - n * p_i)^2}{n * p_i}, \quad (3.7)$$

где p_i - теоретическая вероятность попадания случайной величины в интервал;

m_i - число значений в интервале.

Точность замеров оценивали по коэффициенту вариации и по наибольшей возможной ошибке. Коэффициент вариации определяли по следующей формуле []:

$$V = \frac{\sigma}{M}, \quad (3.8)$$

где V - коэффициент вариации;

σ - среднеквадратичное отклонение;

M - среднеарифметическое значение ряда.

Наибольшая возможная ошибка определялась из следующего выражения []:

$$\Delta n(M) = 3\sigma \quad (3.9)$$

Установление брака измерений, повторность опытов и количество замеров для получения достоверных данных определяли по методике Г.В.Веденяпина [] зависимости от ошибки опыта выраженной в долях от среднеквадратичного отклонения и заданной надежности. Браком измерения считается наличие отклонения превышающего по своему значению 3σ . Такие измерения при дальнейших расчетах не учитывались. При заданной надежности 0,95% и наибольшей ошибке опыта равной 3σ необходима трехкратная повторность опытов.

Погрешность измерения окружной скорости вращения электрод-инструмента определяется по формуле:

$$\frac{\Delta V_{ok}}{V_{ok}} = \pm \left[\frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta n_1}{n_1} \right], \quad (3.10)$$

где $\frac{\Delta D}{D}$ - погрешность измерения диаметра 0,5...1%;

$\frac{\Delta n_1}{n_1}$ - погрешность измерения частоты вращения инструмента, 1...2%.

Общая погрешность измерения не превышает 3%.

Рабочие значения силы тока, напряжения и усилия прижатия электрод-инструмента к детали записывались при помощи шлейфового осциллографа Н-115.

Погрешность определения рабочих значений напряжения определяется по формуле:

$$\frac{\Delta U_p}{U_p} = \pm \left[\frac{\Delta \Pi}{\Pi} + \frac{\Delta T_r}{T_r} \right], \quad (3.11)$$

где $\frac{\Delta \Pi}{\Pi}$ - предельная погрешность осциллографа 1,5...3%;

$\frac{\Delta T_r}{T_r}$ погрешность при тарировки гальванометра, 1...2%.

Общая погрешность измерения не превышает 5%.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Результаты исследования дефектов и износов гильз цилиндров

В результате измерения партии гильз цилиндров двигателя ЗМЗ-511 в сечении наибольшего износа получены следующие значения износа в мм, которые расположены в порядке возрастания: 0,03; 0,04; 0,05; 0,07; 0,08; 0,09; 0,1; 0,1; 0,11; 0,11; 0,11; 0,11; 0,12; 0,13; 0,15; 0,16; 0,17; 0,17; 0,19; 0,20; 0,21; 0,21; 0,22; 0,22; 0,23; 0,24; 0,24; 0,25; 0,26; 0,26; 0,27; 0,27; 0,28; 0,3; 0,3; 0,3; 0,3; 0,32; 0,34; 0,36; 0,36; 0,38; 0,4; 0,4; 0,41; 0,44. Всего 46 замеров.

Расчет приведен в приложении . На рисунках 4.1 и 4.2 статистические и теоретические функции распределения и плотности распределения износа гильзы.

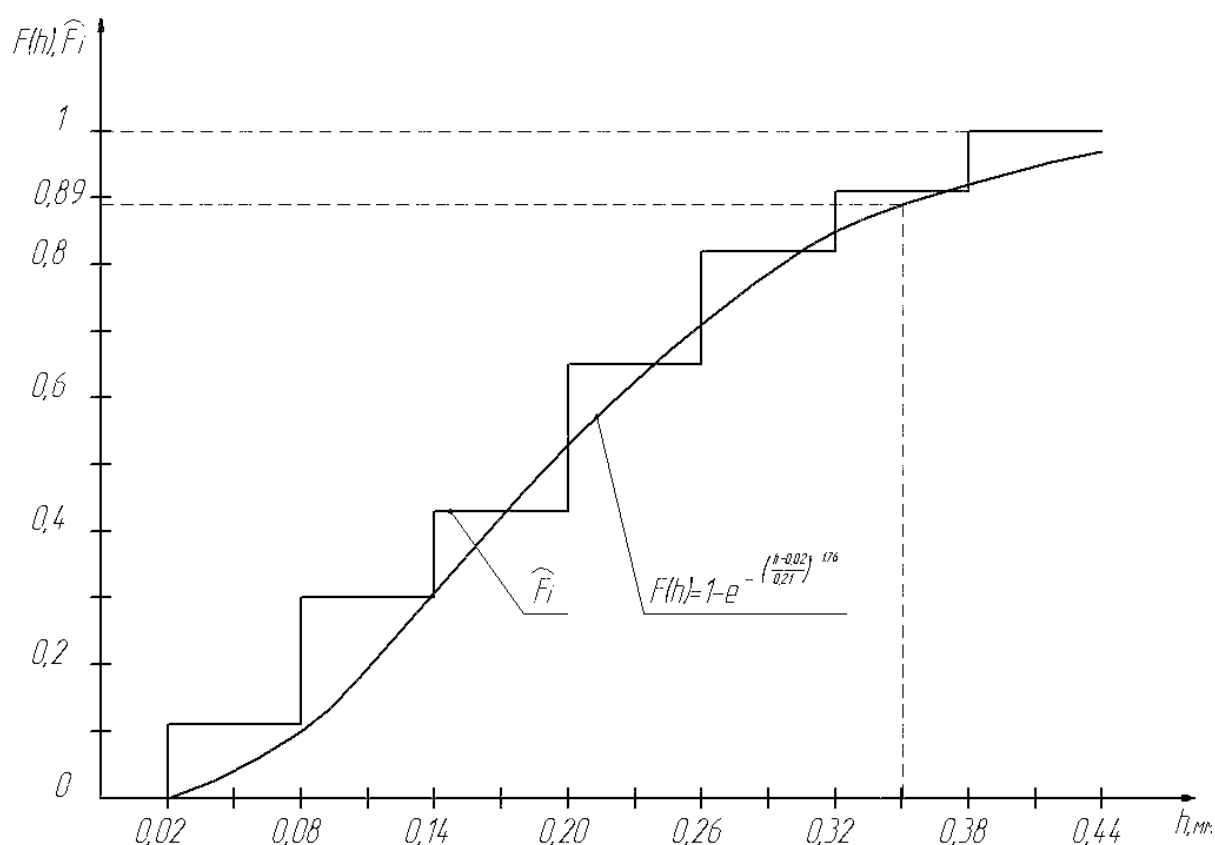


Рисунок 4.1 - Статистические и теоретические функции распределения износа гильзы

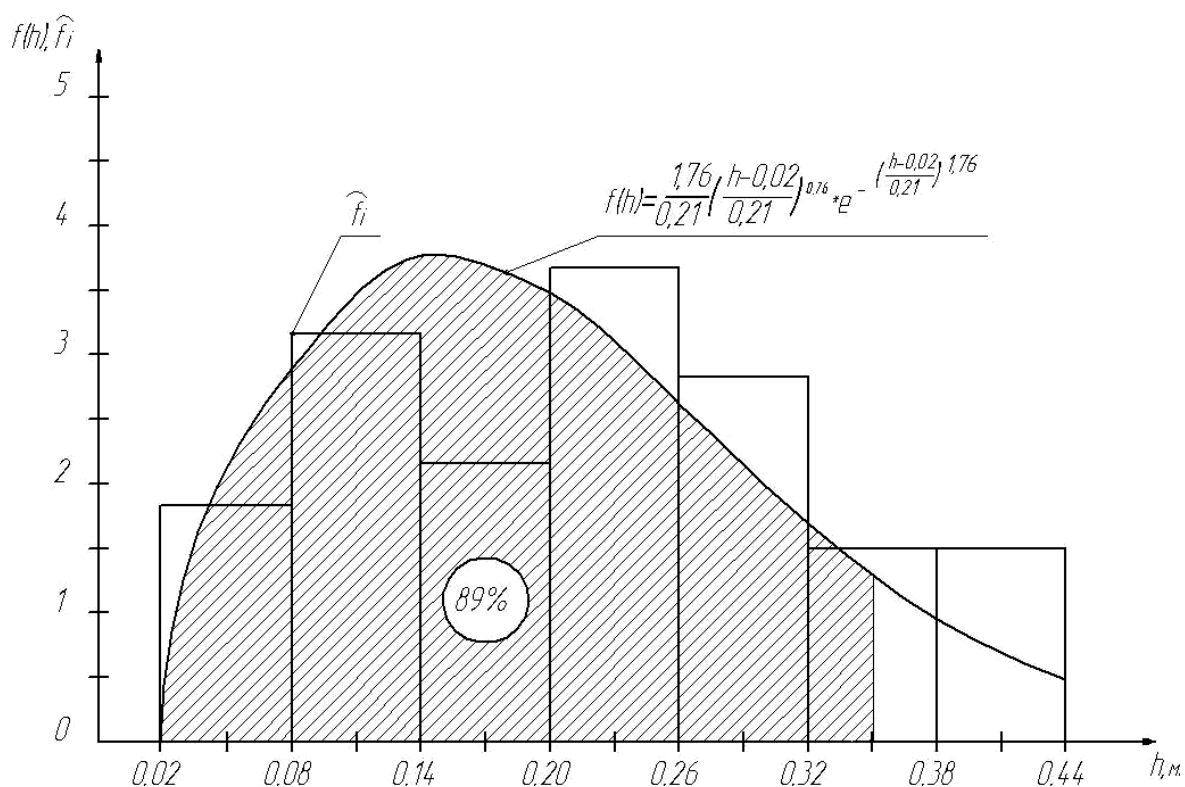


Рисунок 4.2 - Гистограмма и плотность распределения износа гильзы

В результате исследований установлено, что износ гильз цилиндров ЗМЗ-511.10 подчиняется закону распределения Вейбулла с параметрами:

$a = 0,21, b = 1,76, c = 0,02.$

Теоретический закон примет вид:

$$f(h) = \frac{1.76}{0.21} \left(\frac{h - 0.02}{0.21} \right)^{0.76} \cdot e^{-\left(\frac{h - 0.02}{0.21} \right)^{1.76}}; \quad (36)$$

$$F(h) = 1 - e^{-\left(\frac{h - 0.02}{0.21} \right)^{1.76}}.$$

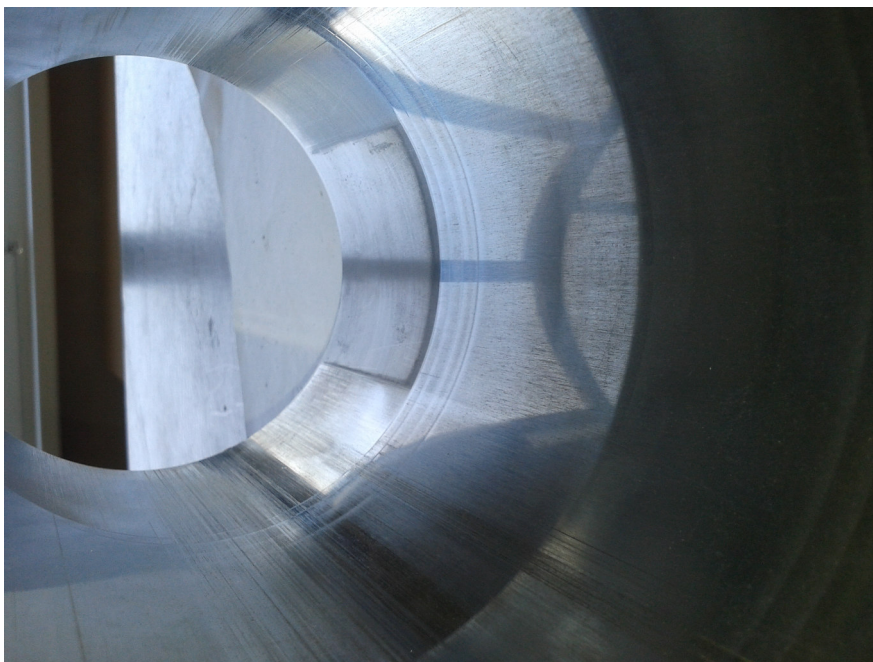
Максимальный износ зеркала гильз составил 0,44 мм а средний 0,21мм.

Учитывая , что с учетом припуска на расточку и хонингование равный 0,15мм, 89% гильз можно обработать под первый ремонтный размер 92,5мм.

На фото изношенных гильз (рис. 1.3) отчетливо видны полосы в зонах остановки поршневых колец в в.м.т. и н.м.т. и вертикальные полосы от поршня, которые говорят о присутствии схватывания и задиров



а)



б)

Рисунок 4.3- Фото зеркала гильзы цилиндра в верхней (а) и нижней (б) части

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что явления схватывания играют значительную роль в общем износе гильзы и требуется защита от схватывания путем нанесения специального покрытия.

4.2 Результаты экспериментов по определению влияния отдельных факторов на процесс электрофрикционного латунирования.

Электрофрикционное латунирование проводилось в классической рабочей жидкости состоящей из 2 объемных частей глицерина и 1 части 10-процентного раствора соляной кислоты.

В качестве инструмента использовались бруски толщиной 2мм и длиной 50 мм из латуни Л63. На рисунке 1.4 показана гильза обработанная методом электрофрикционного латунирования.



Рисунок 4.4 – Гильза двигателя 3МЗ-511.10 после обработки

Проводились исследования влияния силы тока на процесс электрофрикционного латунирования. С помощью последовательно отключения выпрямителей ВСГ-3А получили три ступени значений технологического тока: 400А, 600А и 800А. Каждый выпрямитель ВСГ-3А выдает выпрямленный рабочий ток 200а при рабочем напряжении 6В

Результаты исследования влияния силы тока на процесса на толщину покрытий представлены на рис. 4.2.

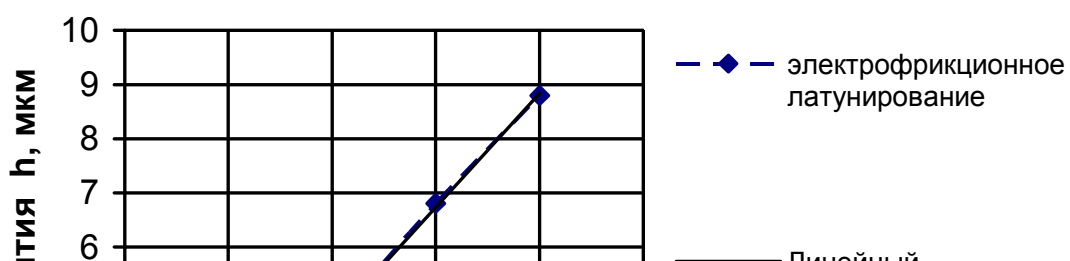


Рисунок 4.5 –Зависимость толщины покрытия от силы тока.

Как видно из рисунка 4.5 сила тока прямопропорционально влияет на толщину покрытия. С ростом силы тока резко увеличивается толщина согласно уравнению: $y=0,0105x+0,4333$.

Это связано с тем что при прохождении электрического тока поверхности детали и латунных брусков дополнительно нагревается становится более пластичной способствуя переносу материала.

Как видно из рисунка 4.5 наиболее рациональным является режим с силой тока 800А.

На рисунке 4.6 представлена зависимость толщины покрытия от удельного давления брусков при силе тока 800А. Всего было принято 3 значения – 35, 50 65 МПа.

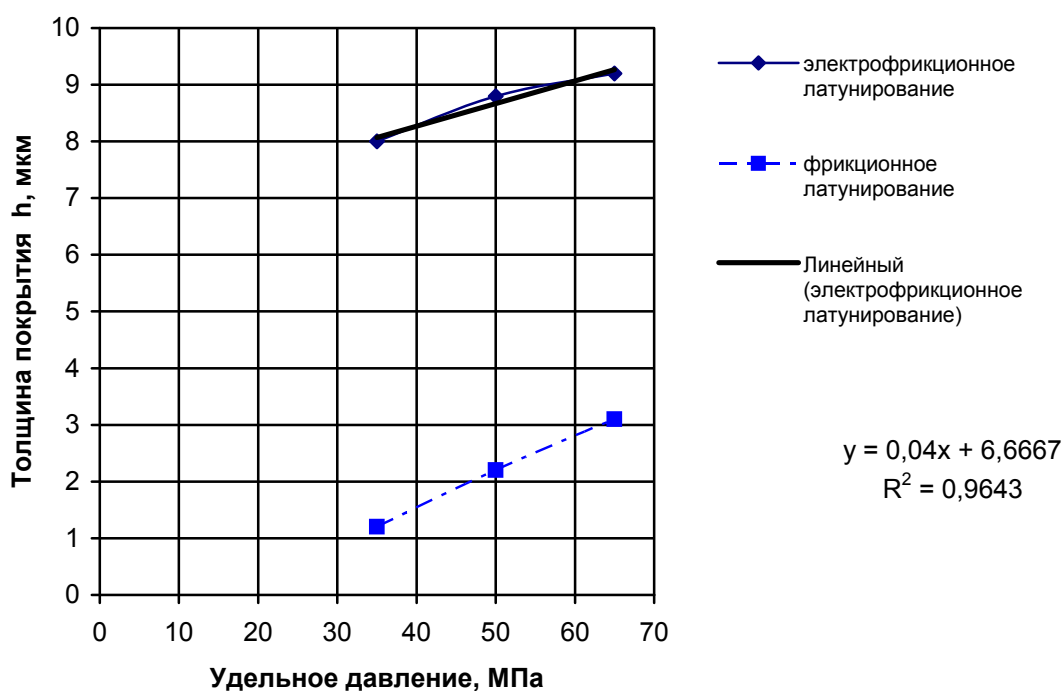


Рисунок 4.6 –Зависимость толщины покрытия от удельного давления инструмента -брусков на обрабатываемую поверхность.

Как видно из рисунка 4.6 видно что с увеличением удельного давления инструмента толщина покрытия тоже увеличивается примерно также как и при фрикционном латунировании по уравнению $y=0,04x+6.667$.

На основании сопоставления графиков 4.5 и 4.6 можно сделать вывод: толщина покрытия при электрофрикционном латунировании сильно не зависит от удельного давления инструмента, так как больше влияет нагрев от электрического тока. Рациональный режим -65МПа.

Результаты исследования влияния времени обработки на толщину покрытия приведены на графике 4.7.

Толщину покрытия измеряли через 10,20 и 30 секунд после начала обработки .

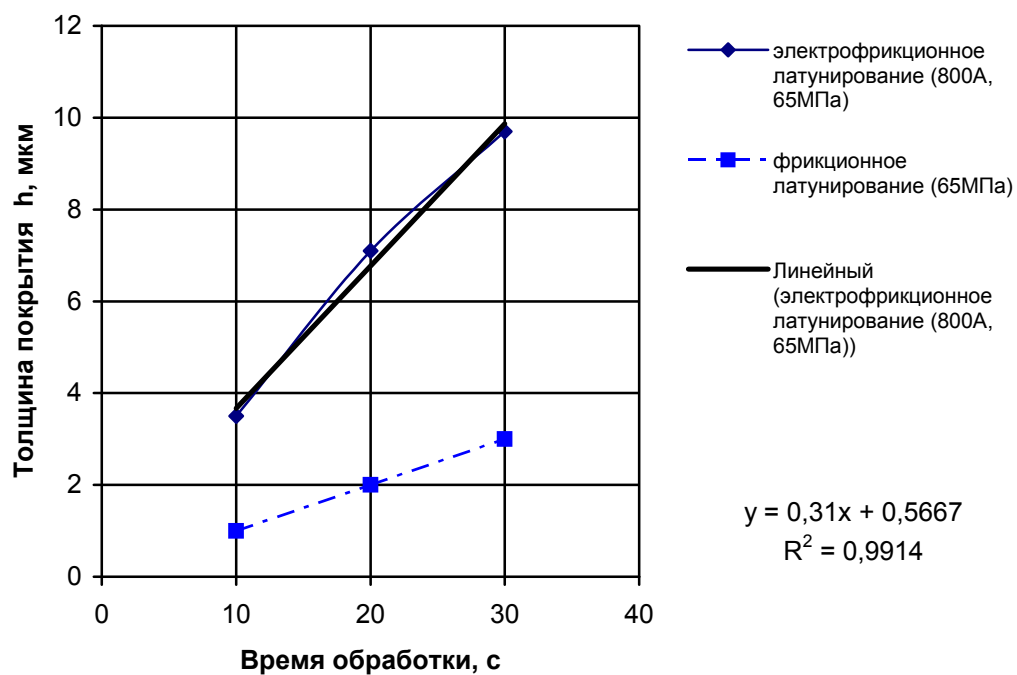


Рисунок 4.7 – Зависимость толщину покрытия от времени обработки.

Как видно из рисунка 4.7 скорость образования покрытия примерно 3 раза выше при электрофрикционном латунировании.

4.3 Результаты исследований микротвердости

Результаты измерения микротвердости приведены на рисунке 4.8.

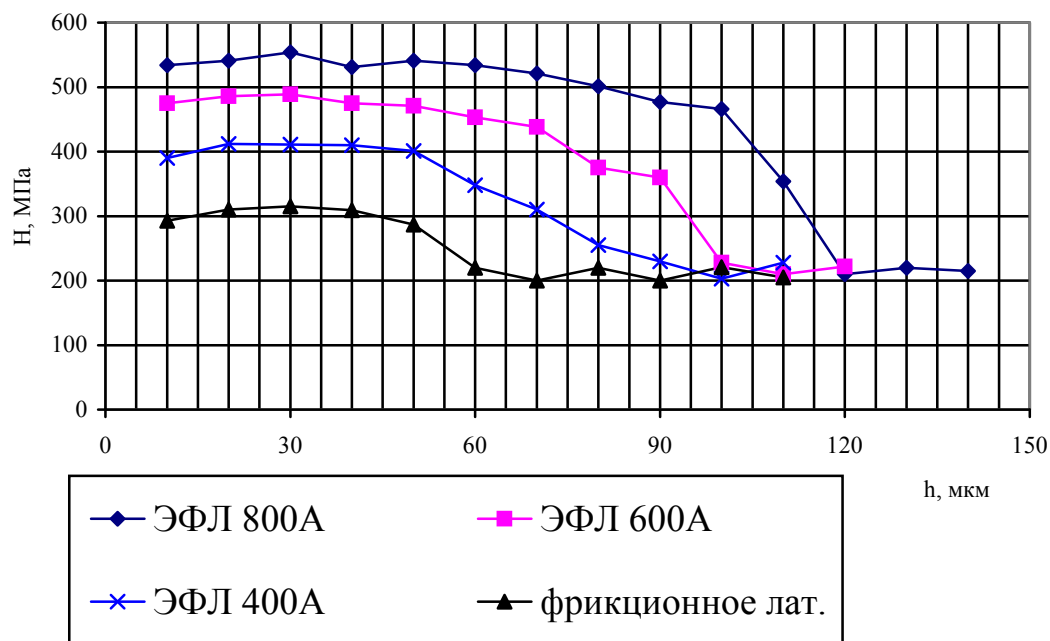


Рисунок 4.8 –Результаты измерения микротвердости

Согласно методике экспериментов нами было проведено исследование микротвердости на приборе ПМТ-3.

Из рисунка 4.8 видно что пропускание электрического тока увеличивает толщину упрочненного слоя с 60до 120мкм и максимальной твердостью до 565 МПа. Происходит образование закалочных структур как при электромеханической обработке.

Профилограмма микропрофиля поверхности после электрофрикционного латунирования приведена на рис. 4.9.

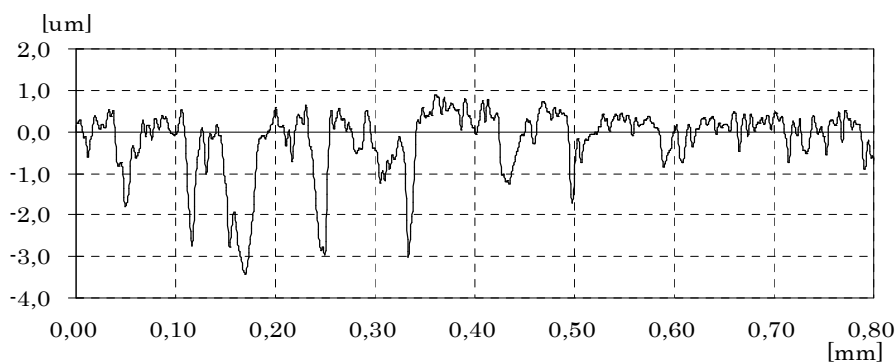


Рисунок 4.9 - Профилограмма микропрофиля поверхности после электрофрикционного латунирования

4.4 Результаты лабораторных исследований износостойкости

Для исследования износостойкости из гильз цилиндров были вырезаны сегменты размером 60×25×5 мм, представленные на рис 4.10. Испытания проводились на машине трения 77МТ-1 конструкции Гаркунова согласно методике приведенной в главе 3.

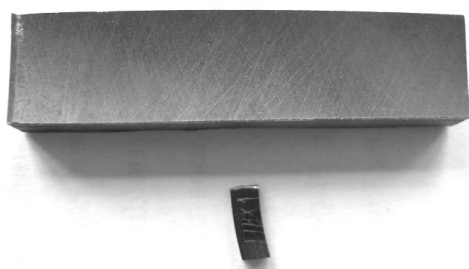


Рисунок 4.10 –Образец и контртело для испытаний на износостойкость.

В качестве контр тела взят сегмент верхнего поршневого кольца 1-го ремонтного размера длиной 10 мм и толщиной 2 мм, соответственно площадь трения контакта составила 20 мм²..

Испытания пары образец–контртело проводили при скорости скольжения 0,026...0,107 м/с, частоте 100...400 двойных ходов в минуту. В качестве смазки использовали моторное масло М-8В (ГОСТ 10541-78), которое подавалось в зону трения в количестве 1 капля смазки на 200 метров пути трения.

Результаты исследования износостойкости представлены на рис.4.11

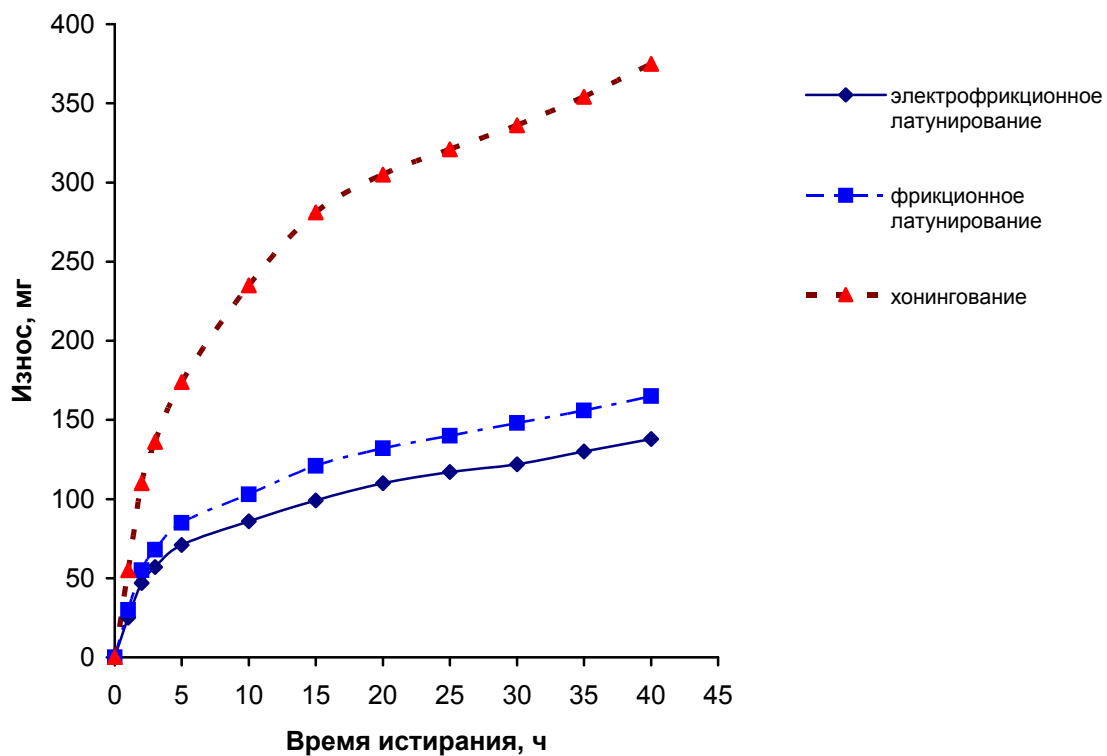


Рисунок 4.11 - Результаты исследования износостойкости

Как видно из графиков износа покрытие после электрофрикционного латунирования на 20% лучше противостоит износу чем фрикционное покрытие и лучше прирабатывается за счет более плотной структуре и хорошему сцеплению с поверхностью детали. Износостойкость электрофрикционного покрытия почти в три раза выше износостойкости поверхности без латунирования.

5 ТЕХНОЛОГИЯ И ЕЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

По результатам исследования предлагается следующая технология восстановления гильз под ремонтный размер:

1. Очистка
2. Дефектация
3. Расточка
4. Черновое хонингование
5. Обезжиривание
6. Электрофрикционное латунирование
7. Контроль качества
8. Консервация детали

Заключительным этапом любого исследования является экономическая оценка.

Предлагаемый метод электрофрикционного латунирования дает следующие эффекты:

1. Износостойкость гильз растет за счет изменения структуры и упрочнения поверхности.
2. Покрытие из латуни полученное электрофрикционным способом более плотное и износостойкое, чем после фрикционного латунирования.
3. Длительность обработки электрофрикционным способом в 3 раза меньше, чем при фрикционном способе .

В качестве базовой оценки технико-экономических показателей принимаем фрикционное латунирование брусковой головкой на вертикально-хонинговальном станке 3Б833.

Перед латунированием для обоих вариантов проводилась расточка на вертикально-расточном станке 278Н резцом с пластинами ВК3 при подаче 0,125 мм/об, частоте вращения 315 мин^{-1} . Припуск для латунирования составлял 0,03 мм на диаметр. Основное время расточки составило 4 мин. Кроме этого, затрачивается время на установку детали в кондуктор, центрирование гильзы с помощью индикаторного приспособления, установку вылета резца, цен и снятие детали с кондуктора.

По данным хронометража общее время цикла по хронометражу для фрикционного латунирования составило 10,5 мин, а для предлагаемой технологии электрофрикционным способом всего 10 мин.

Расчет технико-экономической эффективности производился по общепринятой методике [88,92] для головки электрофрикционного латунирования.

Данные для расчета технико-экономических показателей приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Исходные данные для расчета технико-экономических показателей обработки.

Наименование	Варианты	
	исходный (базовый)	проекти – руемый
Масса конструкции, кг	760	800
Балансовая стоимость, руб.	500000	600000
Потребляемая (установленная) мощность, кВт	3	7,8
Количество обслуживающего персонала, чел.	1	1
Разряд работы	4	4
Тарифная ставка, руб./чел.-ч.	200	200
Норма амортизации, %	20	20
Норма затрат на ремонт и ТО, %	4	4
Годовая наработка, час	1901	1901
Время цикла, мин	10,5	10
Технический ресурс, мото-час.	4000	5000
Годовая программа, ед.	9000	9000

Методика расчета приведена в приложении В

Результаты расчета технико-экономической эффективности выполнены с помощью табличного процессора Excel и сведены в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Показатели технико-экономические эффективности

Наименование показателей	Варианты		Проект. в
	Исходный (базовый)	Проекти- руемый	% к базовому
Часовая производительность, ед./ч	5,71	6,00	1,050
Фондоемкость процесса, руб./ед.	58,333	66,67	1,143
Энергоемкость процесса, кВт/ед.	0,525	1,300	2,476
Металлоемкость процесса, кг/ед.	0,00965	0,01067	1,10526
Трудоемкость процесса, чел.-ч.	0,175	0,167	0,952
Затраты на оплату труда, руб./ед.	35,000	33,333	0,952
затраты на доп. оплату труда ,руб./ед.	3,500	3,333	0,952
Затраты на электроэнергию, руб./ед.	2,520	6,240	2,476
Затраты на ремонт и ТО руб./ед.	2,333	2,667	1,143
Отчисления на социальные нужды ,руб./ед.	14,399	13,713	0,952
Общепроизводственные расходы , руб./ед.	42,350	40,333	0,952
Внепроизводственные расходы, руб./ед.	3,850	3,667	0,952
Общехозяйственные расходы, руб./ед.	19,250	18,333	0,952
Амортизационные отчисления, руб./ед.	11,550	13,2	1,143
Уровень эксплуатационных затрат, руб./ед.	134,752	134,82	1,001
Уровень приведенных затрат, руб./ед.	143,502	144,82	1,009
Годовая экономия, руб.	-	242067	-
Годовой экономический эффект, руб.	-	248817	-
Срок окупаемости кап вложений, лет	-	2,479	-

Коэффициент эффективности капитальных вложений	-	0,403	-
--	---	-------	---

Как видно из результатов расчета внедрение электрофрикционного латунирования гильз цилиндров позволит получить годовой экономический эффект 248817 руб. при программе 9000 гильз в год .

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ:

1. Дефектация гильз цилиндров показала, что износ гильз цилиндров 3МЗ-511.10 подчиняется закону распределения Вейбулла с параметрами: $a = 0,21$, $b = 1,76$, $c = 0,02$. На поверхности зеркала цилиндра присутствуют следы задиров и канавки от схватывания поршневых колец в как в в.м.т так и н.м.т.

2. Наиболее рациональные режимы обработки: сила тока – 800А; напряжение 6В, давление инструмента 65МПа. Производительность электрофрикционного латунирования в 3 раза выше фрикционного.

3. Разработана технология электрофрикционного латунирования и головка для его осуществления.

4. Лабораторные испытания показали, что износостойкость поверхности гильз цилиндров обработанной электрофрикционным способом на 20...22% выше износостойкости поверхности после фрикционного латунирования.

5. Экономический эффект от внедрения технологии электрофрикционного латунирования составляет 248817 руб. при программе 9000 гильз в год.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева А.Г., Бурумкулов Ф.Х., Толоконшисов В.И. и др. Финишная антифрикционная безабразивная обработка как средство повышения срока службы машин и оборудования // Сб. науч. статей под ред. Д.Н. Гаркунова. М.: Машиностроение, 1990. С. 34-59.
2. Андрейченко В.Н. Причины натиров гильз цилиндров дизеля КАМАЗ - 740 / В.Н. Андрейченко, М.А. Григорьев, В.Т.Занребин // Автомобильная пром-ть. - 1991. - №4. - С. 19 - 20.
3. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой / Б.М. Аскинази. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. - 200 с.
4. А.с. 57162 (СССР). Способ нанесения металлических покрытий / А.А. Абиндер // Б.И. 1940. №6. С. 1-3.
5. Асташкевич Б.М. Механизм изнашивания деталей ЦПГ тепловозных дизелей / Б.М. Асташкевич // Повышение износостойкости деталей ДВС. - М.: 1992. - С. 5 - 12.
6. Асташкевич Б.М. Хромированные вставки в гильзы цилиндров / Б.М. Асташкевич, Д. Зияев // Техника в сельском хозяйстве. - 1988. - №2. - С. 15-17.
7. Байбарацкая, М. Ю. Упрочняющая фрикционно-электрическая обработка стальных поверхностей трения / М. Ю. Байбарацкая, А. А. Пальянов, Ю. К. Машков // Трение и износ. – 2004. – № 25. – С. 434–439.
8. Балабанов В.И. Триботехнологии в техническом сервисе машин / В.И. Балабанов, С.А. Ищенко, В.И. Беклемышев. – М: Изумруд, 2005. - 192 с.
9. Белевский Л.С. Пластическое деформирование поверхностного слоя и формирование покрытия при нанесении гибким инструментом. Магнитогорск: Лицей РАН, 1996. 231 с.
10. Богомолова М.А. Практическая металлография / М.А. Богомолова. - М.: Высш. шк., 1987. - 240 с.

11. Борисов Ю.С. Плазменные порошковые покрытия / Ю.С. Борисов, А.Л. Борисова. - Киев: Техника, 1986. - 222 с.
12. Бугаев В.И. Эксплуатация и ремонт форсированных тракторных двигателей / В.И. Бугаев. – М.: Колос, 1981. – 208 с.
13. Бурштейн Л.М. Температура масляной пленки и стенки цилиндра ДВС/Л.М.Бурштейн, А.Р.Пикман // Двигателестроение.-1982.- № 4.-С.18 - 20.
14. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментальных исследований и обработка опытных данных / Г.В. Веденяпин.- М.: Колос,1973.- 56с.
15. Венцель С.В. Смазка и долговечность двигателей внутреннего сгорания / С.В. Венцель. - Киев: Техника, 1977. – 208 с.
16. Гальванические покрытия в машиностроении : Справочник / М.А. Шлугер; под ред М.А. Шлугера.. – М.: Машиностроение, 1985. - Т. 1. - 240 с.
17. Гаркунов, Д.Н. Триботехника. Износ и безызносность / Д.Н.Гаркунов.- М.:Машиностроение, 2001. – 616 с.
18. Генбом Б.Б. Механизм влияния серы на износ двигателей внутреннего сгорания /Б.Б. Генбом // Борьба с коррозией ДВС и газотурбинных установок. - М.: Машиностроение, 1992. – С.56-45.
19. Глазов В.М. Микротвердость металлов / В.М. Глазов, В.И. Вигдорович. - М.: Машиностроение, 1977. - 224 с.
20. Горский В.Г. Планирование промышленных экспериментов / В.Г. Горский, Ю.П. Адлер. - М.: Металлургия, 1974. - 264 с.
21. Григорьев М.А. Износ и долговечность автомобильных двигателей / М.А. Григорьев, Н.Н.Пономарев. – М.: Машиностроение, 1976.-248с.
22. Григорьев М.А. Основные причины изнашивания деталей цилиндропоршневой группы двигателей ЯМЗ/ М.А. Григорьев, С.В. Лебедев, С.Н.Федоров // Автомобильная промышленность.–1994.- №2.– С.10 - 13.
23. Гурвич И.Б. Износ и долговечность автомобильных двигателей / И.Б. Гурвич. – Горький: Волго – Вятское изд., 1970. – 175 с.

24. Двигатели внутреннего сгорания: Конструкция и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей / под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова.. – М.: Машиностроение, 1984. - 384 с.
25. Демкин Н.Б. Качество поверхности контактирующих деталей / Н.Б. Демкин, Э.В. Рыжов. – М.: Машиностроение, 1981. - 242 с.
26. Ждановский Н.С. Надежность и долговечность автотракторных двигателей / Н.С.Ждановский, А.В.Николаенко.- Л.: Колос,1981.-295с.
27. Зайцев, С.А. Хонингование и суперфиниширование в автотракторостроении / С.А. Зайцев. – М.: Машиностроение, 1985. - 88 с.
28. Занребин В.Г. Исследование режимов приработки автомобильных двигателей при ремонте / В.Г.Занребин, А.Х.Касумов. - М.: Транспорт, 1983. - 78 с.
29. Защита от водородного износа в узлах трения / А.А. Полякова [и др.]; под ред. А.А.Полякова.– М.: Машиностроение, 1980.-133 с.
30. Зеленцова В.Д. Некоторые особенности износа цилиндров двигателей / В.Д. Зеленцова [и др.]// Автомобильная пром-ть. - 1979. - №8. - С. 4–5.
31. Зубиетова М.П. Влияние условий работы двигателя Д-240 на износостойкость его деталей/ М.П. Зубиетова, И.В. Пустовалов // Тракторы и сельхозмашины. - 1988. - №2. - С. 6-8.
32. Канарчук Е.Д. Влияние неустановившихся режимов на износ двигателя внутреннего сгорания / Е.Д. Канарчук.- Киев:КТЭИ,1970.–167с.
33. Карпенков В.Е. Исследование способа твердого осталивания применительно к восстановлению цилиндров ДВС: дис. ... канд. техн. наук/ В.Е. Карпенков. - Саратов, 1968. - 118 с.
34. Карпенков В.Ф. Финишная антифрикционная безабразивная обработка / В.Ф. Карпенков, В.В. Стрельцов, И.Л. Приходько, В.Н.Попов.- Пущино, 1996. – 107 с.

35. Катец, Н.В. Металлизация напылением / Н.В. Катец [и др.]. – М.: Машиностроение, 1966. - 200 с.
36. Костецкий Б.И. Качество поверхности и трение в машинах / Б.И. Костецкий, Н.Ф. Колесниченко. - Киев: Техника, 1969. - 215 с.
37. Костецкий Б.И. Механохимические процессы при граничном трении / Б.И. Костецкий, М.Э. Натансон, Л.И. Бершадский. - М.: Наука, 1973. 107.
38. Корнейчук И.Н. Гальваномеханический способ восстановления деталей машин / И.Н. Корнейчук // Новые технологические процессы восстановления деталей машин. - Кишинев: Штиинца, 1988. - С. 10-21.
39. Куликов, С.И. Прогрессивные методы хонингования / С.И. Куликов, В.А. Ризванов, В.А. Романчук. – М.: Машиностроение, 1983. - 135 с.
40. Куликов С.И. Хонингование : справ. пособие / С.И. Куликов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1973. - 168 с.
41. Ларин Т.В. Хромирование как метод увеличения срока службы деталей локомотива / Т.В. Ларин, Б.М. Асташкевич // Вестник машиностроения. - 1972. - №2. - С. 15-17.
42. Лимарев В.Я. Материально-техническое обеспечение агропромышленного комплекса / В.Я. Лимарев, М.Н. Ерохин, Е.А. Пучин. - М.: Известия, 2002. - 464 с.
43. Маневич Ш.С. Простейшие статистические методы анализа результатов наблюдения и планирования экспериментов / Ш.С. Маневич. - Казань: КСХИ, 1970. – 108с.
44. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. Рекомендация НТС МСХ СССР . – М., 1979. – 79с
45. Масино М.А. Автомобильные материалы: Справочник инженера механика / М.А. Масино [и др.] - М.: Транспорт, 1979. - 288 с.

46. Меркулов Е. Восстановление гильз цилиндров автомобилей методом теплового формоизменения: Экспресс-информ./ Е. Меркулов, Б. Гомзяков//ЦБНТИ. - М., 1981. - Вып.4. - С.1-19.
47. Методы повышения долговечности деталей машин / В.Н. Ткачев, М.Б. Фиштейн, В.Д. Власенко. – М.: Машиностроение, 1971. - 271 с.
48. Микулин Ю.В. Пуск холодных двигателей при низкой температуре /Ю.В.Микулин, В.В. Карницкий, Б.А. Энглин. - М.: Машгиз, 1971. -216с.
49. Мишин А.И. Долговечность двигателей / А.И. Мишин. - Л.: Машиностроение, 1976. - 288 с.
50. Моисеев В.В. Повышение межремонтного ресурса гильз цилиндров автомобильных двигателей центробежным индукционным напеканием в условиях ремонтных предприятий Госагропрома : дис. ... канд. техн. наук / В.В. Моисеев. - М., 1987. - 283 с.
51. Мухин Е.М. Приработка и испытание автомобильных двигателей / Е.М. Мухин, И.И. Столяров. - М.: Транспорт, 1981. - 257с.
52. Намаконов Б.В. Повышение долговечности гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания способом ФАБО / Б.В. Намаконов, В.В. Кисель, В.П. Лялякин // Долговечность трущихся деталей машин. - М.: Машиностроение, 1990. - Вып. 4. - С. 139-144.
53. Надежность и ремонт машин / В.В. Курчаткин [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. - М.: Колос, 2000. - 776 с.
54. Петров Ю.Н. Ремонт автотракторных деталей гальваническими покрытиями / Ю.Н. Петров, В.П. Косов, М.П. Стратулат. - Кишинев: Карте Молдавениянска, 1976. - 152 с.
55. Повышение срока службы гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания: монография / Фасхутдинов Х.С., Шайхутдинов Р.Р. - Ка-зань: КГТУ, 2011. - 188 с.

56. Польцер Г. Финишная антифрикционная обработка (ФАБО) и избирательный перенос / Польцер Г. [и др.]// Долговечность трущихся деталей машин. - М.: Машиностроение, 1990. - Вып. 5. - С. 86-123.
57. Потапов Г.К., Балабанов В.И. Финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО) гильз цилиндров и шеек коленчатых валов двигателей. // Эффект безызносности и триботехнологии. № 3 - 4, 1994. С. 48 -53.
58. Пучин Е.А. Надежность технических систем: учебное пособие для инженерных специальностей вузов / Е.А. Пучин, А.В. Коломейченко, В.Н. Логачев и др. – Орел, Изд-во ОрелГАУ, 2012. – 96 с.
59. Пучин Е. А. Практикум по ремонту машин: учеб. пособие / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.А. Очковский и др. ; под общ. ред. Е. А. Пучина. – М. : КолосС, 2009. – 327 с.
60. Рабочий процесс и теплонапряженность автомобильных дизелей / Г.Д. Чернышев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1986. – 216 с.
61. Рекомендации по восстановлению гильз цилиндров автотракторных двигателей. - М.: ГОСНИТИ, 1977.-36 с.
62. Руттенбер Г.Б. О коррозионном износе цилиндров современных двигателей / Г.Б. Руттенберг// Автомобильная пром-ть. - 1971. - №6. - С. 6-8.
63. Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин / Э.В. Рыжов. - Киев: Наука думка, 1984. - 271 с.
64. Стрельцов В. В. Трибологические основы повышения ресурса машин: практикум / В. В. Стрельцов, А. М. Колокатов, И. Л. Приходько, и др. – М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2010. – 168 с.
65. Способ восстановления внутренней поверхности гильз цилиндров : Пат. 2025248 Рос. Федерация/ Воробьев С.К., Ивлев А.Я., Агапитов Н.И. - №5043880/27; Заявл. 25.02.92; Оpubл. 30.12.94. - Бюл. №24.
66. Способ восстановления гильзы цилиндров ДВС : А.С. 1505738 СССР/И.Н. Соколенко, В.Н.Хромов.-Заявл.19.07.80.Оpubл.07.04.83.-Бюл. 3.

67. Способ восстановления изношенной боковой поверхности деталей типа втулки: А.С. 1205423 СССР / В.П. Нечаев, В.И. Ахатов, Б.Л. Таубин. -Заявл. 29.07.75. Оpubл. 27.04.78. - Бюл. №3.
68. Способ восстановления изношенных гильз цилиндров : А.С. 2006358 СССР / А.В. Дмитриев. - Оpubл. 30.01.94. - Бюл. №12.
69. Способ восстановления отверстий в деталях : А.С. 1806904 СССР/ Ш.У. Юлдашев, И.А. Аширбеков. №4867933/27. - Заявл. 19.07.90. Оpubл. 07.04.93. - Бюл. №13.
70. Способ обработки поверхности гильзы цилиндра: Пат. 3126840 / Пакраси Субхас (ФРГ). - № 3186840; Заявл. 08.07.81; Оpubл.27.08.83.
71. Суранов Г.И. Уменьшение износа автотракторных двигателей при пуске / Г.И. Суранов.- М.: Колос, 1982. - 89 с.
72. Таннинг Л. Исследование закономерностей изнашивания и совершенствование технологии и организации ремонта двигателей моделей ЗМЗ : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10/ Л.Таннинг. - Л., 1979. - 285 с.
73. Хасуй А. Техника напыления / А. Хасуй. – М.: Машиностроение, 1975. - 288 с.
74. Терешкин С.А., Чекулаев О.В. Фрикционное латунирование деталей двигателей. Сб. статей "Повышение износостойкости на основе избирательного переноса." М.: Машиностроение, 1977. С. 152- 155.
75. Трение, изнашивание и смазка : Справ: в 2 т. / И.В. Крагельский [и др.]; под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1978. - Т. 1-2.
76. Унифицированный технологический процесс восстановления гильз цилиндров /В.П. Лялякин [и др.]; ВНПО «Ремдеталь». - М.,1982.-25 с.
77. Усенко В.И. Исследование размерно-упрочняющей обработки гильз цилиндров автомобильных двигателей : дис. ... канд. техн. наук / В.И. Усенко.- Владимир, 1974. - 247 с.

78. Хрулев А.Э. Ремонт двигателей зарубежных автомобилей: производственно-практическое издание /А.Э.Хрулев.– М.:За рулем,1999.40 с.
79. Чеповецкий, И.Х. Механика контактного взаимодействия при алмазной обработке / И.Х. Чеповецкий. - Киев: Наук. Думка,1978. - 228 с.
80. Черепанов, С.С. Проблемы повышения технического уровня и надежности сельскохозяйственной техники / С.С. Черепанов, М.А. Халфин // Техника в сельском хозяйстве. - 1995.-№6. - С. 3-6.
81. Черноиванов, В.И. Организация и технология восстановления деталей машин / В.И. Черноиванов, В.П. Лялякин.- 2-е изд. перераб. и доп. - М.: ГОСНИТИ, 2003. - 488 с.
82. Шнейдер, Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Ю.Г.Шнейдер.- СПб:СПбГИТМО, 2001.-264 с.

Публикации автора:

1. Повышение износостойкости гильз цилиндров автотракторных двигателей / Набиуллин Ф.Ф., Валиев И.И. Закиров Р.Р.,Шайхутдинов Р.Р. // Аграрная наукаXXI века. Актуальные исследования и перспективы / Труды 2-ой международной научно-практической конференции.- Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2017.- С.118-120.
2. Анализ устройств для ФАБО гильз цилиндров автотракторных двигателей / Набиуллин Ф.Ф, Валиев И.И. Закиров Р.Р., Шайхутдинов Р.Р. // Аграрная наукаXXI века. Актуальные исследования и перспективы / Труды 2-ой международной научно-практической конференции.- Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2017.- С.118-120.