

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»
Институт механизации и технического сервиса
Кафедра «Эксплуатация и ремонт машин»
Направление подготовки –350406 Агроинженерия
Магистерская программа – Технический сервис в сельском хозяйстве

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема: «РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ АВТОТРАКТОРНЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО ОБЖАТИЯ»

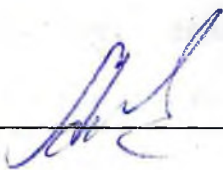
Магистрант



Валиев А.Ш.

Научный руководитель,

д. т. н., профессор

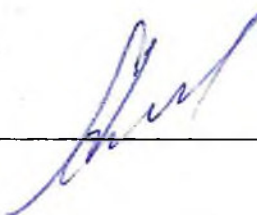


Адигамов Н.Р.

Обсужден на заседании кафедры и допущен к защите
(Протокол № 9 от 02.02. 2021 г.)

Руководитель магистерской программы,

д.т.н., профессор



Адигамов Н.Р.

Казань – 2021 г.

АННОТАЦИЯ

Магистерская диссертация на тему «Разработка технологического процесса восстановления гильз цилиндров автотракторных двигателей методом термического обжата» содержит 71 страниц машинописного текста, 16 рисунков, 11 таблиц, 59 наименований источников литературы.

В первом разделе диссертации рассмотрено состояние вопроса в области восстановления изношенных гильз цилиндров.

Проанализированы существующие способы восстановления автотракторных гильз.

Во второй главе рассмотрены теоретические предпосылки для реализации метода восстановления гильз цилиндров автотракторных двигателей термическим обжатием.

Также во второй главе сформулированы цели и задачи исследования, определен объект исследования и сформулирована научная новизна работы.

В третьей главе приведена методика исследований, представлен алгоритм микрометража изношенных гильз с использованием оригинального устройства для проведения измерений. Также определен закон распределения по которому контролируется максимальный износ гильз. Построены теоретические графики функции распределения износа гильз.

В четвертой главе разработан технологический процесс восстановления гильз термическим обжатием и дана оценка технико-экономической эффективности внедрения технологического процесса восстановления изношенных гильз автотракторных двигателей методом термического обжата.

ANNOTATION

The master's thesis on the topic "Development of a technological process for restoring cylinder liners of automotive engines by thermal compression" contains 71 pages of typewritten text, 16 figures, 11 tables, 59 names of literature sources.

In the first section of the dissertation, the state of the issue in the field of restoration of worn cylinder liners is considered.

The existing methods of restoring autotrack cartridge cases are analyzed.

In the second chapter, the theoretical prerequisites for the implementation of the method of restoring the cylinder liners of tractor engines by thermal compression are considered.

Also in the second chapter, the goals and objectives of the study are formulated, the object of the study is defined and the scientific novelty of the work is formulated.

In the third chapter, the research methodology is presented, and the algorithm of micrometry of worn-out sleeves using the original measurement device is presented. The distribution law is also defined, according to which the maximum wear of the sleeves is controlled. Theoretical graphs of the sleeve wear distribution function are constructed.

In the fourth chapter, the technological process of restoring liners by thermal compression is developed and the technical and economic efficiency of implementing the technological process of restoring worn-out liners of automotive engines by thermal compression is evaluated.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА.....	8
1.1 Причины износа гильз цилиндров	8
1.2 Способы восстановления гильзы цилиндров.....	10
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ.....	17
2.1 Объект исследования.....	17
2.2 Анализ существующих технологических процессов термодинами- ческого обжаривания.....	17
2.3 Цели и задачи исследования.....	21
2.4 Научная новизна.....	21
ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	23
3.1. Дефектация гильз цилиндров.....	23
3.2 Результаты микрометража гильз и их анализ.....	27
3.3. Выбор закона распределения износа гильз.....	29
3.3.1 Предварительные вычисления.....	29
3.3.2 Разработка данных статистического ряда для построения графиче- ских.....	31
3.3.3 Среднеквадратическое отклонение и математическое ожидание с расчетом коэффициента вариации.....	32
3.3.4 Подбор теоретического закона распределения и определение его параметров.....	35
3.3.5 Теоретические графики распределения	37
3.3.6 Определение сходимости статистических и теоретических дан- ных.....	37
3.4 Методика проведения экспериментов по усадке гильз цилиндров..	38
3.5 Ошибки измерений.....	46
3.6 Анализ экспериментальных исследований.....	47

ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГИЛЬЗ МЕ-	
ТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО ОБЖАТИЯ.....	50
4.1 Расчет норм времени.....	51
4.1.1. Автоматическая наплавка.....	52
4.1.2.Токарная обработка наружной поверхности гильзы.....	54
4.1.3. Растачивание гильзы.....	54
4.1.4. Хонингование гильзы.....	55
4.1.5.Дефектация и контроль.....	56
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.....	57
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	59
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	66

ВВЕДЕНИЕ

Современное сельскохозяйственное производство использует большой парк отечественных и зарубежных сложных сельскохозяйственных машин.

Эксплуатация этих сложных сельскохозяйственных машин не возможно без наличия качественной и эффективной базы технического сервиса этих машин.

Значительная часть затрат при эксплуатации сложных сельскохозяйственных машин составляют затраты на запасные части. Особенно это чувствуется при ремонте импортных сложных сельскохозяйственных машин.

На долю запасных частей по Республике Татарстан ежегодно приходится затраты на приобретение запасных частей около 4 млрд. рублей.

Поэтому организация производства запасных частей и восстановления изношенных деталей сельскохозяйственных машин является актуальной задачей, решение которой может в значительной мере повысить эффективность эксплуатации техники на территории Республики Татарстан.

Одним из сложнейших агрегатов современных сложных сельскохозяйственных машин является двигатель внутреннего сгорания.

При эксплуатации сельскохозяйственных машин на долю двигателей внутреннего сгорания приходится более 60% всех отказов.

Ремонт современных автотракторных двигателей – это затратный процесс, который требует использование специализированного оборудования, рабочего персонала высокой квалификации и дорогостоящих запасных частей.

Гильзы цилиндров автотракторных двигателей являются одним из важнейших элементов конструкции автотракторных двигателей, износ которых в значительной мере влияет на мощностные характеристики двигателя, расход топливносмазочных материалов и увеличение вредных выбросов в окружающую среду.

Гильзы автотракторных двигателей выполнены из дорогостоящего материала и сами по себе имеют высокую цену, особенно у импортных двигателей.

Поэтому разработка эффективного малозатратного технологического процесса восстановления автотракторных гильз является важной задачей.

Предлагаемая работы направлена на решение этой задачи, путем разработки и исследования технологического процесса восстановления автотракторных гильз методом термического обжата.

ГЛАВА 1

СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

1.1 Причины износа гильз цилиндров

На долю двигателей внутреннего сгорания приходится от 36% до 52% от общего процентов отказов. [13,53]. Анализ отказов машин в гарантийный период приведенные в работах Пучина Е.А., Ерохина М.Н. [25], относительно количество отказов двигателей внутреннего сгорания, автомобильных, тракторных и комбайновых колеблется от 16,9 %, у трактора Т-4А до 80 %, ВТ-100 при среднем значении 43,25%. В связи изложенным увеличение ресурса отремонтированных двигателей требует особого внимания, так как большинство двигателей тракторов и зерноуборочных комбайнов в небольших фермерских хозяйствах оснащены отремонтированными двигателями.

Современные автотракторные двигатели являются самым дорогим агрегатом в сложных отечественных и особенно зарубежных сельскохозяйственных машин.

Поэтому в процессе эксплуатации этих сельскохозяйственных машин по мере износа двигателя они не заменяются на новые, а подвергаются текущему и капитальному ремонту.

Для осуществления этих ремонтов необходимо наличие как оборудования так и специалистов высокой квалификации.

При возникновении отклонений в работе цилиндропоршневой группы возникает вероятность ускоренного износа других сборочных единиц двигателей [11,14].

В процессе работы двигателя на износ гильз влияет большое количество факторов.

К этим факторам можно отнести:

- не качественные топливносмазочные материалы;
- запыленность воздуха, попадающего в камеру сгорания;

– предельное изношенное состояние компрессионных и маслосъемных колец;

– наличие частиц нагара не посредственно в камере сгорания.

При интенсивном взаимодействии перечисленных факторов возникают различные дефекты. Наиболее распространенным дефектом является износ внутренней рабочей поверхности цилиндров.

Безусловно, одной из основных причин износостойкости гильз цилиндров является материал из которого они сделаны. Для тракторных дизельных двигателей чаще всего используется серый чугун (СЧ). Это как правило низколегированный или среднелегированный перлитный чугун [7]. На форсированных двигателях могут использоваться перлитный чугун с глобулярным графитом, высоколегированным чугуном или аустенитный чугун типа «нери-зист». При использовании стальных гильз для повышения их износостойкости необходимо проводить индукционную обработку. При изготовлении гильз чаще всего используют марки стали 30ХЗВА, 38ХВФЮ, 40Х и другие марки.

Во время работы двигателя износ цилиндров происходит неравномерно и по образующей и по окружности.

Неравномерность износа гильзы обусловлено тем, что в верхней части происходит перекадка поршня, а также в верхней части гильзы происходит ее детонационное нагружение, вследствие чего гильзы по всей своей длине изнашиваются неравномерно.

Самый большой износ находится в верхней части гильзы, который плавно уменьшается у основания гильзы.

Основными источниками пыли поступающие в ЦПГ является неплотные установки воздухоочистителя и впускного тракта. При работе трактора на культивации пара (запылённость воздуха $0,1 \text{ г/м}^3$, расход воздуха – $250 \text{ м}^3/\text{ч}$), через воздухоочиститель с коэффициентом очистки 99,7% в двигатель поступает $0,075 \text{ г/ч}$ пыли [14]. Наиболее опасной зоны подвержены к абразивному износу является верхняя часть цилиндра. При воздействии

высоких температур и химических элементов на пыль, она окисляется и изолируется, и оседает на поршневые кольца [11,15].

При этом ряд авторов считают, что очень мелкие абразивные частицы размеры менее 5 мкм впитывают в себя продукты окисления масла, припадствуя непосредственному контакту трущихся деталей. Частицы кварца имеют как правило пластинчатую форму, что способствует при адсорбции продуктов окисления масла выполнению противоизносной и антифрикционной функции [51].

В связи с тем, что рабочая поверхность гильзы работает в сложных условиях с интенсивным термическим воздействием и абразивным воздействием частичек пыли и нагара, то при изготовлении гильз цилиндров авто-тракторных двигателей к ним предъявляются повышенные требования по износостойкости.

Эти требования реализуются путем использования дорогостоящих легированных материалов на базу чугуна, которые позволяют противодействовать абразивному изнашиванию.

Также в практике производства гильз используются технологии, при которых наиболее верхняя наиболее изнашиваемая часть гильзы выполняется из керамоподобного материала, что в значительной мере противодействует окислительному изнашиванию и абразивному изнашиванию, тем самым повышая ресурс работы гильзы цилиндров.

Для повышения коррозионной стойкости материалов необходимо проводить дополнительную обработку зеркало цилиндра [10,11].

1.2 Способы восстановления гильзы цилиндров

При ремонте гильз цилиндров используют два способа.

Первый способ наиболее распространенный в практике ремонтного производства – это расточка гильз под ремонтный размер. При этом способе гильзы растачиваются на увеличенный стандартный размер и с помощью хо-

нингования достигаются заданные характеристики частоты поверхности гильзы.

Второй способ заключается в восстановлении заданного размера гильзы путем установки дополнительной детали. В качестве дополнительной детали используются ставки из износостойких материалов. Для реализации этой технологии гильзы растачивается под увеличенный размер. В нее запрессовывается гильзованная вставка из высоколегированного материала после чего гильза подвергается мехобработке, а именно черновому и чистовому растачиванию с последующим хонингованием под номинальный размер гильз.

При восстановлении как правило, используется растачивания гильзы на вертикально расточных станках за 1-2 прохода резцами из твердых сплавов ВК 2, ВК 3. После растачивания в зависимости от качества, гильза подвергается двукратному или трехкратному хонингованию. При этом основными размерами является посадочные пояски и торцу опорного бурта.

При обработки гильз, совмещают ось шпинделя станка и обрабатываемую гильзу с помощью шариковой оправки. При восстановлении закаленных гильз их верхняя (до 15 мм) и нижняя (до 30мм) пояски остаются незакаленными, а износ гильзы цилиндра неравномерна. Это приводит к образованию разницы диаметра закаленного и незакаленного участка в 0,15...0,20 мм. Для устранения данного дефекта увеличивают припуск на хонингования, что приводит к увеличению времени ремонта, его трудоемкости и себестоимости [34,38].

Практический опыт восстановления гильз цилиндров показал, что использования резцов из синтетических материалов Эльбор-Р Гексанит-Р, резко повышает производительность расточных работ и качества обработки. При этом стойкость этих резцов в 10...12 раз превышает стойкости резцов ВК 2 и ВК 3, и может достигать до 70 гильз на один резец. При этом резко снижается на 30...40% затраты, на хонингованию сокращается время ремонта [3].

Другим видом растачивания гильзы цилиндра является внутренняя шлифовка на станках СШ-22 и СШ-44. Гильзу шлифуют за два прохода: черной и чистой. Однако, этот способ имеет существенные недостатки, при шлифовании появляются участки прижогов, а также происходит шаржирование зеркала цилиндра [29,34,46]. При наличии вибрации инструменты станка и деталей возможно образование царапин повреждающий цилиндр.

После каждой растачиваний гильз они подвергают обязательному хонингованию, иногда до тех раз.

В практике ремонтного производства широко используется метод восстановления автотракторных гильз под ремонтный размер. Этот метод широко используется при ремонте автотракторных двигателей.

К недостаткам этого метода можно отнести, что структурно изменяется поверхность зеркала этого цилиндра. Также уменьшается толщина стенок самого цилиндра, что влияет на температурный режим работы двигателя и снижает ресурс работы цилиндропоршневой группы.

При значительном износе гильзы цилиндров в тех случаях, когда нельзя использовать метод расточки под ремонтный размер применяют метод запрессовки чугуновой или стальной гильзы с последующей ее обработки методом черновой, чистовой расточки и хонингования под номинальный размер.

В ряде ремонтных предприятиях осуществляется восстановления гильз с обработкой в размер побывавших в эксплуатации. Однако, при этом снижается ресурс работы двигателя из-за установки использованных поршней, изложенных способ восстановления гильз обладает рядом недостатками. При постановке дополнительных деталей появится повышенная теплонапряженность цилиндра поршневой группы.

Также в практике ремонтного производства используются методы наплавки внутренней поверхности гильз цилиндров. При реализации этого метода обязательно надо учитывать химический состав наплавляемого материала, так как одним из важных показателей внутренней поверхности гильзы цилиндра является его износостойкость.

Поэтому при использовании этого метода помимо сложных легирующих электродов могут быть использованы флюсующие добавки, в состав которых входят различные ферросплавы и керамоподобные элементы.

Разновидностью названного способа восстановления является индукционная наплавка шихтой, который состоит из флюса и порошка ПГ-ХН180СР4. Особенностью этого способа является образования проточки, в которую вводится шихта. При вращательном движении гильзы в его внутрь вводится индуктор ТВЧ, который расплавляет шихту примерно за 80 секунд и за счет центробежных сил равномерно распределяет по стенке цилиндра. После распределения шихты, гильзу охлаждают до 200...300°C. Для получения качественного зеркала цилиндра производят высокотемпературный отпуск в течении четырех часов и охлаждают вместе с печью, для достижения необходимых размеров расточки и хонинговании. При этом способе износостойкость изделия увеличивается до 5 раз.

При технологии разработанной в уральском филиале НИИТа гильза нагревается до 840...880°C током высокой частоты и охлаждают водой. При чем гильза испытывает большие тепловые и деформационные напряжения в окружном направлении. На величину деформации воздействует физико-механические свойства металла и интенсивность охлаждений. Так как, гильза нагревается почти до 900°C, у них изменяется физико-механические свойства металла и его структура со всеми вытекающими последствиями.

С.К. Воробьев и А.Я. Ивлев [17] предлагают для восстановления внутренней поверхности гильзы напрессовывать снаружи на, предварительно проточенную, верхнюю часть втулку, нагретую до температуры 300...400°C. При охлаждения втулки происходит обжим гильзы, в результате чего уменьшается внутренний диаметр. Затем наружная и внутренняя поверхности подвергаются механической обработке до номинальных размеров.

При использовании метода восстановления предложенного ГОГСНИ-ТИ происходит пластическое перемещение материала в зону восстановления холодно-механическим обжатием совместно с упругим перемещением матрицы, так как при этом гильза нагревается, необходимо сделать низкотемпературный отпуск, после чего производится расточка, хонингования и доведения размеров до необходимых параметров.

В свое время широкое распространение получил метод восстановления гильз цилиндров методами металлизации. В этом случае на изношенную поверхность наносится распыленный в жидкотекучем состоянии металл. закрепление металла на изношенной поверхности осуществляется за счет создания предварительно искусственной шероховатости и за счет функционирования процесса адгезии.

Способ металлизационного напыления позволяет получить заданные физико-механические свойства восстановленной поверхности.

Этот способ также предполагает проведение слесарно-механической обработки в виде чернового, чистового растачивания с последующим черновым и чистовым хонингованием.

При этом зеркало гильзы цилиндров может обладать повышенной пористостью, что не всегда можно расценить как положительный эффект.

Одним из передовых методов восстановления является восстановление зеркала цилиндра электролитическим нанесением, что обязательно восстановит геометрию цилиндра, либо шлифованием, либо растачиванием с последующим хонингованием. После хонингования зеркала цилиндра обязательно подвергают обязательной механической обработки [21,47].

Хорошие физико-механические свойства восстановленной внутренней поверхности зеркала цилиндра позволяет получить метод восстановления гильз с использованием электролитического осаждения металлов (хромирование, железнение).

При хромировании получается очень качественные потные износостойкие поверхности, что позволяет увеличить ресурс работы гильз цилин-

дров. В свою очередь высокая плотность покрытий отрицательно сказывается на смачиваемость поверхности гильз цилиндра.

Для того, чтобы устранить этот недостаток необходимо дополнительно использовать еще одну операции, т.е. осуществлять пористое хромирование для создания специальных масляных карманов на поверхности гильз цилиндров.

При ремонте гильз находящихся в зоне ремонтных размеров восстановления осуществляется расточкой или хонингованием нескольких раз. Максимальный износ зеркало цилиндра при этом не должно быть не более 0,3 мм.

Если гильзы цилиндров имеют незначительный износ, как правило используется шлифование.

Основным критериям при выборе метода восстановления является условия работы деталей в конкретных двигателях, стоимости и времени восстановления. Качество восстановления деталей и технологических свойств способов ремонта. Основными критериями ремонта является долговечность, экономия применимость. Одним из основных критериев является критерием применимости, который определяет принципиальную возможность использования различных способов восстановления по отношению к конкретным деталям. Применимость того или иного способа зависит от наличие технологического оборудования предприятия, квалификация обслуживающегося персонала, данные по применимости данного вида ремонта из других ремонтных предприятий [5,38,53].

Эффективность применения того или иного способы восстановления гильз оценивается по специальной методике. Эта методика учитывает три критерия восстановления во взаимосвязи.

Эти критерии оценивают технические параметры, технологические параметры и технико-экономические параметры. Обобщенный анализ этих критериев позволяет выбрать тот или иной способ восстановления гильз цилиндров для конкретного предприятия.

На кафедре «Эксплуатация и ремонт машин» Казанского ГАУ проводились исследования по усадке гильз цилиндров двигателя А-41 путём наплавки наружной поверхности гильзы [1,19]. Исследованиями установлена принципиальная возможность восстановления гильз цилиндров методом усадки посредством наплавки наружной поверхности гильзы.

Итак, можно назвать несколько основных способов восстановления изношенных гильз цилиндров:

- 1) растачивание под ремонтный размер;
- 2) термопластическое обжатие гильзы в матрице;
- 3) метод усадки [1];
- 4) хромирование в проточном электролите.

Мы выбрали метод усадки, а это термопластическая наплавка наружной поверхности гильзы цилиндра. В любом случае необходимо знать величину и характер износа внутренней поверхности гильзы.

ГЛАВА 2

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

2.1. Объект исследования

Современные автотракторные двигатели представляют собой очень сложный агрегат, на который приходится наибольшая часть всех отказов по сложным сельскохозяйственным машинам. От работы этого сложного агрегата во многом зависит эффективность эксплуатации самих сложных сельскохозяйственных машин в целом.

Одним из важнейших элементов современных автотракторных двигателей является цилиндропоршневая группа. Все основные технические характеристики современных автотракторных двигателей во многом зависят от технического состояния внутренних поверхностей гильз цилиндров.

Восстановление гильз цилиндров автотракторных двигателей является весьма важной и экономически целесообразной задачей.

Исходя из вышеизложенного объектом исследования предлагается выбрать технологии восстановления гильз цилиндров автотракторных двигателей методом термического обжата.

2.2. Анализ существующих технологических процессов термодинамического обжата

Пластичность при термическом деформировании зависит от материала детали, который подвергается деформированию, структуры материала, зернистость. Также на пластичность свойства материала влияет температура нагрева этого материала.

Сущность термопластической деформаций заключается в том, что при быстром индукционном нагреве деталей типа «полый цилиндр» создается градиент температуры (ГТ), который, деформируя деталь, вызывает ее оста-

точную деформацию (усадку), достаточную для компенсации износа поверхности и дальнейшей механической обработки. При этом в одном технологическом цикле в различной последовательности выполняются операции нагрева, деформации и охлаждения детали, как с фазовыми превращениями, так и без них, с использованием и без использования внешних механических воздействий [33].

Технологический процесс пластического деформирования предполагает изменение формы и геометрических размеров восстанавливаемой поверхности. Все детали из металлических материалов обладают определенной упругостью, поэтому при снятии воздействия внешних сил происходит обратное изменение формы и геометрических размеров за счет упругости материала детали.

В процессе пластического деформирования обязательно возникает различные виды напряжения (растягивающие, сжимающие).

Наличие этих напряжений приводит к тому, что в структуре материала деталей могут возникать микротрещины, которые в свою очередь могут повлиять на усталостную прочность детали в целом.

В структуру этих барьеров входит мелкозернистая организация материала детали. Эта мелкозернистая структура позволяет определенным образом создавать разнонаправленные действия сил пластического деформирования.

При пластическом деформировании необходимо учитывать воздействие нескольких факторов, в том числе – температурное воздействие, а также фактор повторности приложения сил пластического деформирования [33].

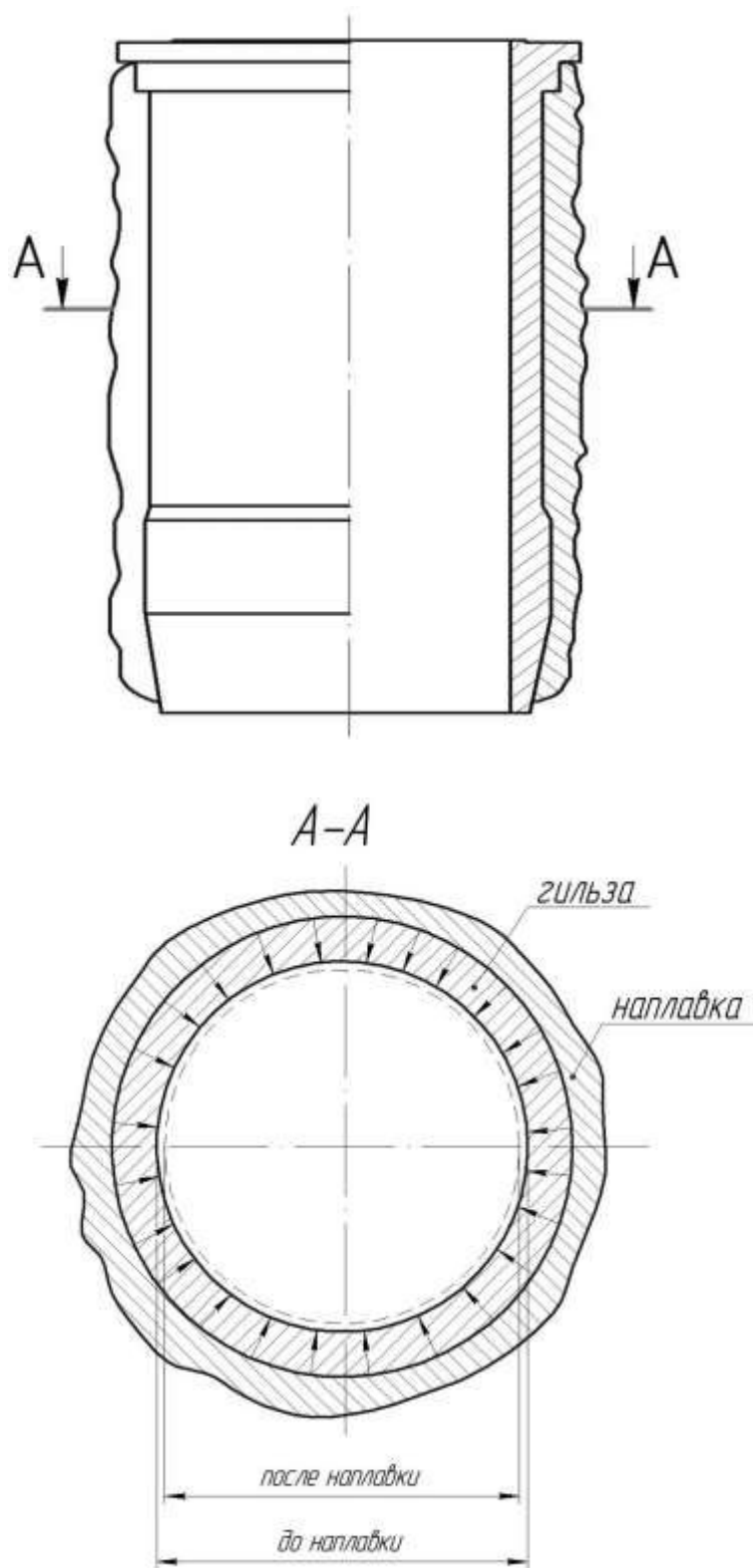


Рисунок 2.1 –Схема изменения линейных размеров сечения образца гильзы при методе термического обжатия

Исследования показывают, что для достижения одновременной высокой прочности (износостойкости) и пластичности материала необходимо использовать комбинированные способы восстановления и упрочнения деталей при их термопластической деформации.

В случае наплавки наружной поверхности гильзы (рис. 2.1) наплавленный слой при остывании сдавливает гильзу, что приводит к её усадке, то есть к уменьшению внутреннего диаметра. Поскольку гильза имеет различную толщину стенок по её высоте, то и величина усадки по высоте гильзы также будет различной.

В верхней и нижней частях гильзы усадка, скорее всего, будет минимальной, а в средней части – максимальной. Предполагаемый характер усадки гильзы по высоте показан на рисунке 2.2.

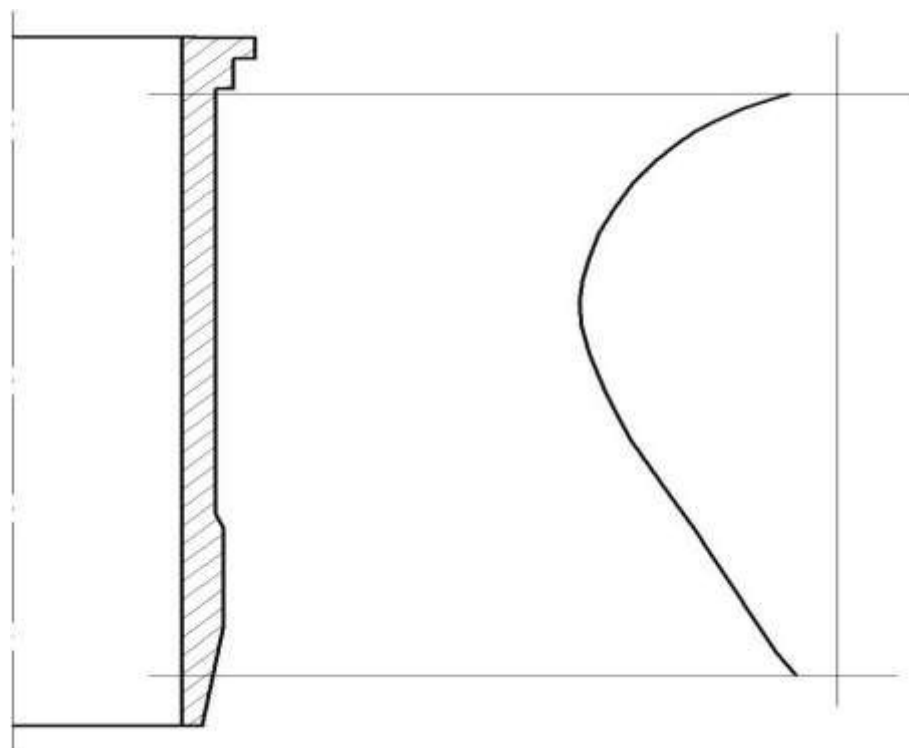


Рисунок 2.2 – Предполагаемая диаграмма термического обжатия гильзы цилиндра.

Для проверки сделанных предпосылок необходимы экспериментальные исследования.

2.3. Цели и задачи исследования

Исходя из вышеизложенного для реализации технологии восстановления гильз автотракторных двигателей были сформулированы следующие цель и задачи исследования.

Целью исследований предлагаемой работы является разработка новой технологии восстановления автотракторных гильз с использованием методов термодинамического обжата.

Для достижения поставленной цели в процессе научно-исследовательской работы необходимо решить нижеследующие важные задачи.

1. Разработать методику микрометража гильз цилиндров и изготовить необходимую для этого оснастку.

2. Произвести микрометраж изношенных гильз цилиндров двигателя Д-240 с целью выявления величины и характера их износа по внутреннему диаметру. Обосновать необходимую величину усадки гильз.

3. Разработать методику и провести эксперименты по усадке гильз методом наплавки.

4. На основе анализа экспериментальных данных разработать новый технологический процесс восстановления автотракторных гильз методом термического обжата.

5. Обосновать технико-экономическую эффективность предлагаемой технологии восстановления автотракторных гильз методом термического обжата.

2.4. Научная новизна

- Разработана методика микрометража гильз цилиндров.
- Разработана методика экспериментальных исследований по обжатию гильз методом наплавки.

– Разработан новый технологический процесс восстановления авто-тракторных гильз методом термического обжата.

ГЛАВА 3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.

3.1 Дефектация гильз цилиндров

В связи с условиями работы цилиндра поршневой группы износ зеркала гильзы происходит неравномерно. В верхней части зеркала гильзы изнашивается значительно больше. Это связано с тем что, что верхней части гильзы происходит перекладка поршня, также происходит динамическое воздействие в результате детонационного взрыва паров топлива.

Поэтому при дефектации гильз все технические измерения производятся в разных плоскостях (А, Б) и на разных уровнях. На рисунке 3.1 показана схема измерения изношенной гильзы.

Таким образом, на гильзе производилось 20 замеров внутреннего диаметра в изношенной зоне. Величина износа в каждом сечении определялась как разность между диаметром в верхней неизношенной зоне (сечение 0) и диаметром в соответствующем сечении:

$$h_i = D_0 - D_i, \text{ мм} \quad (3.1)$$

где h_i – износ рабочей зоны в каждом сечении, мм;

D_0 – номинальный размер не изношенной части гильзы, мм;

D_i – диаметр гильзы, мм.

Для осуществления замеров по разработанной схеме было использовано специальное приспособления (рис 3.2), состоящее из основания 1 гайки 2 и винта 3 с рукояткой 4. Верхний конец винта служит упором для индикаторного нутромера 6, который при повороте винта на один оборот перемещается по оси цилиндра на величину шага резьбы, то есть на 3,5 мм. Замеры проводились с 3-х кратной повторностью, точность замеров – 0,01 мм.

Для измерения износа гильзы используется индикаторный нутромер. Настойка нутромера осуществляется по верхней не изношенной части гильзы. Износ на разных уровнях гильзы определяется по отклонению (увеличению размера) индикаторного нутромера.

Данные по дефектации гильз приведены в таблице 3.1 и для наглядности представлены в виде диаграммы на рисунке 3.3. Из диаграммы видно, что наибольший износ находится в верхней части гильзы.

Таблица 3.1 – Результаты замеров гильзы.

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h_i	0	0,56	0,57	0,48	0,32	0,26	0,16	0,10	0,06	0,03	0,03

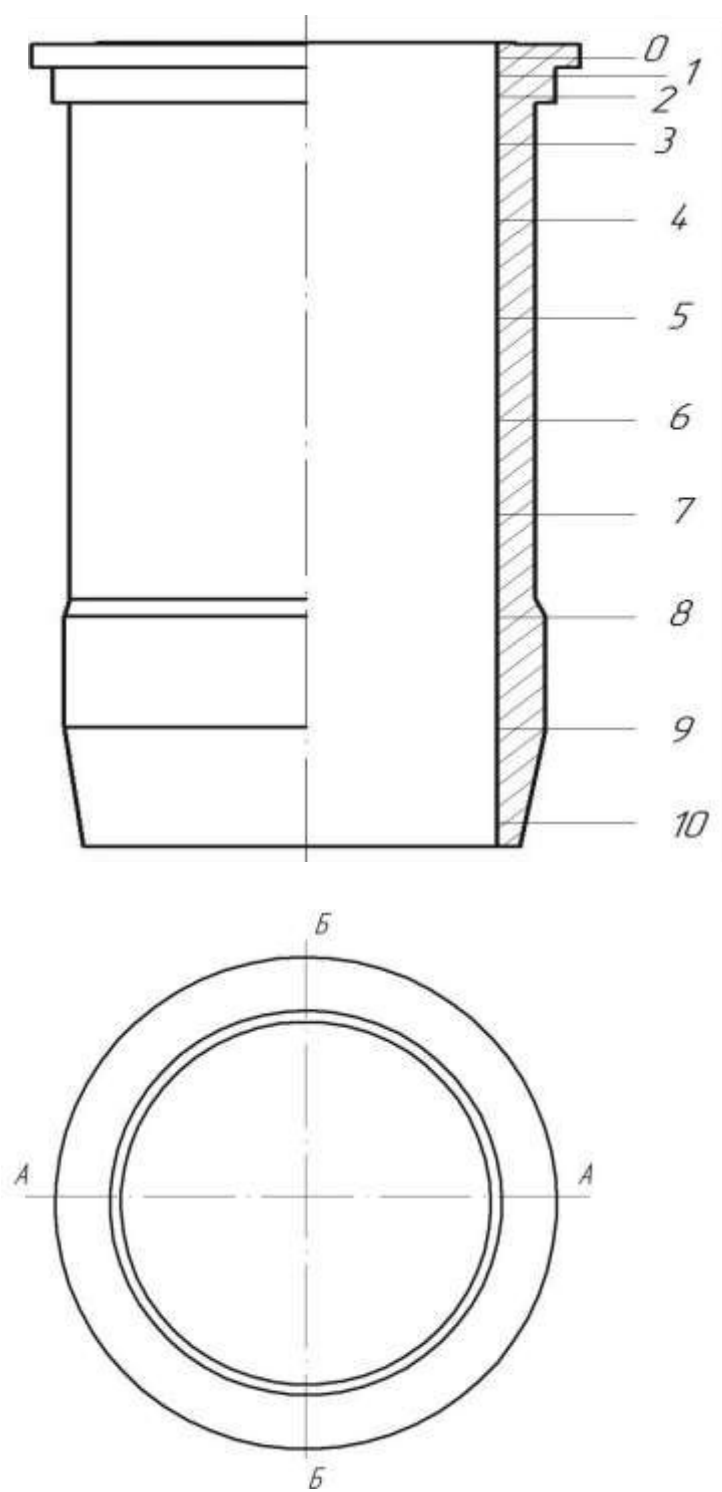
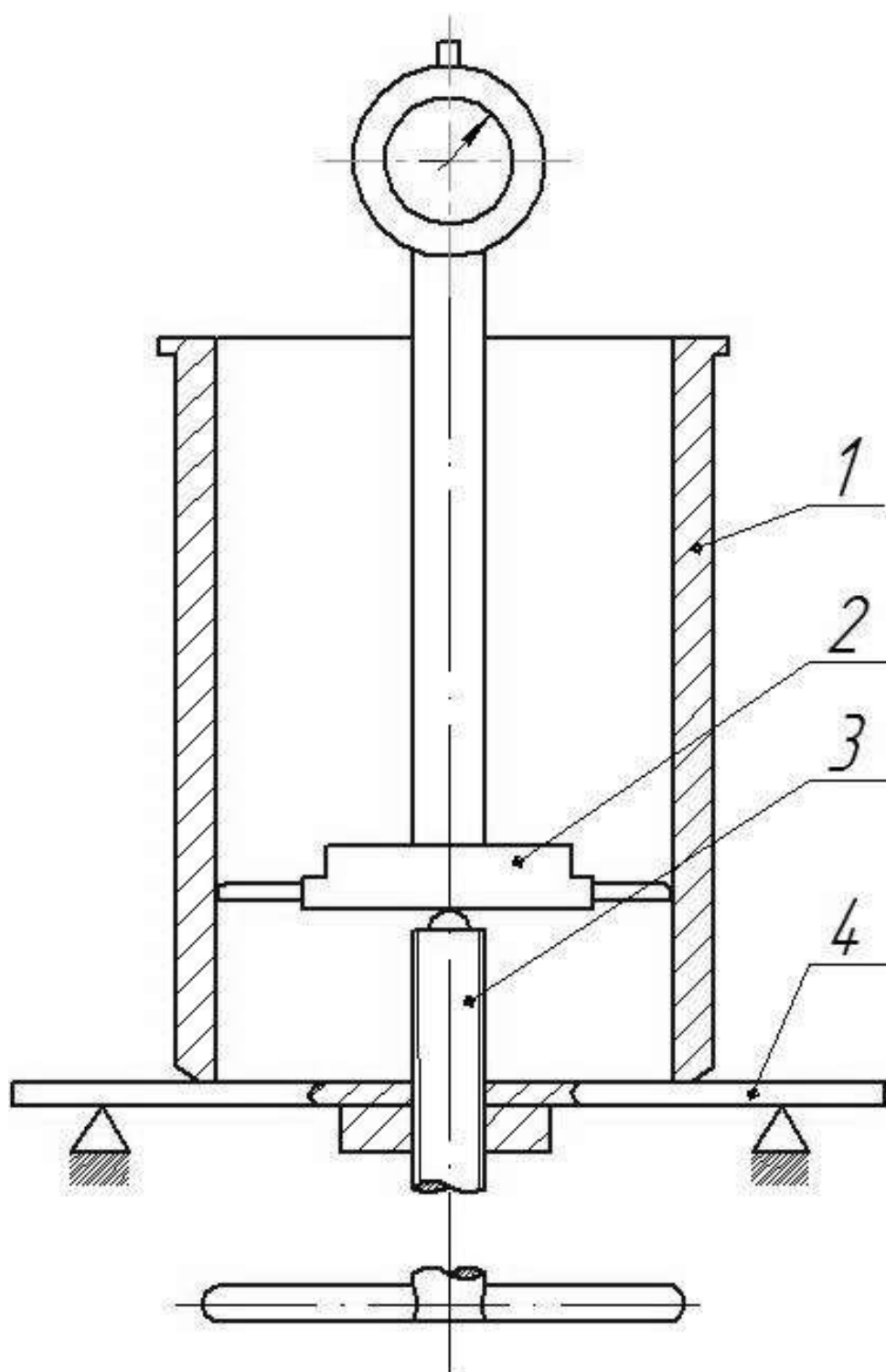


Рисунок 3.1 – Замер гильзы в двух плоскостях.



1 – гильза; 2 – нутромер индикаторный; 3 – винт; 4 – плита

Рисунок 3.2 – Схема приспособления для микрометрирования гильз.

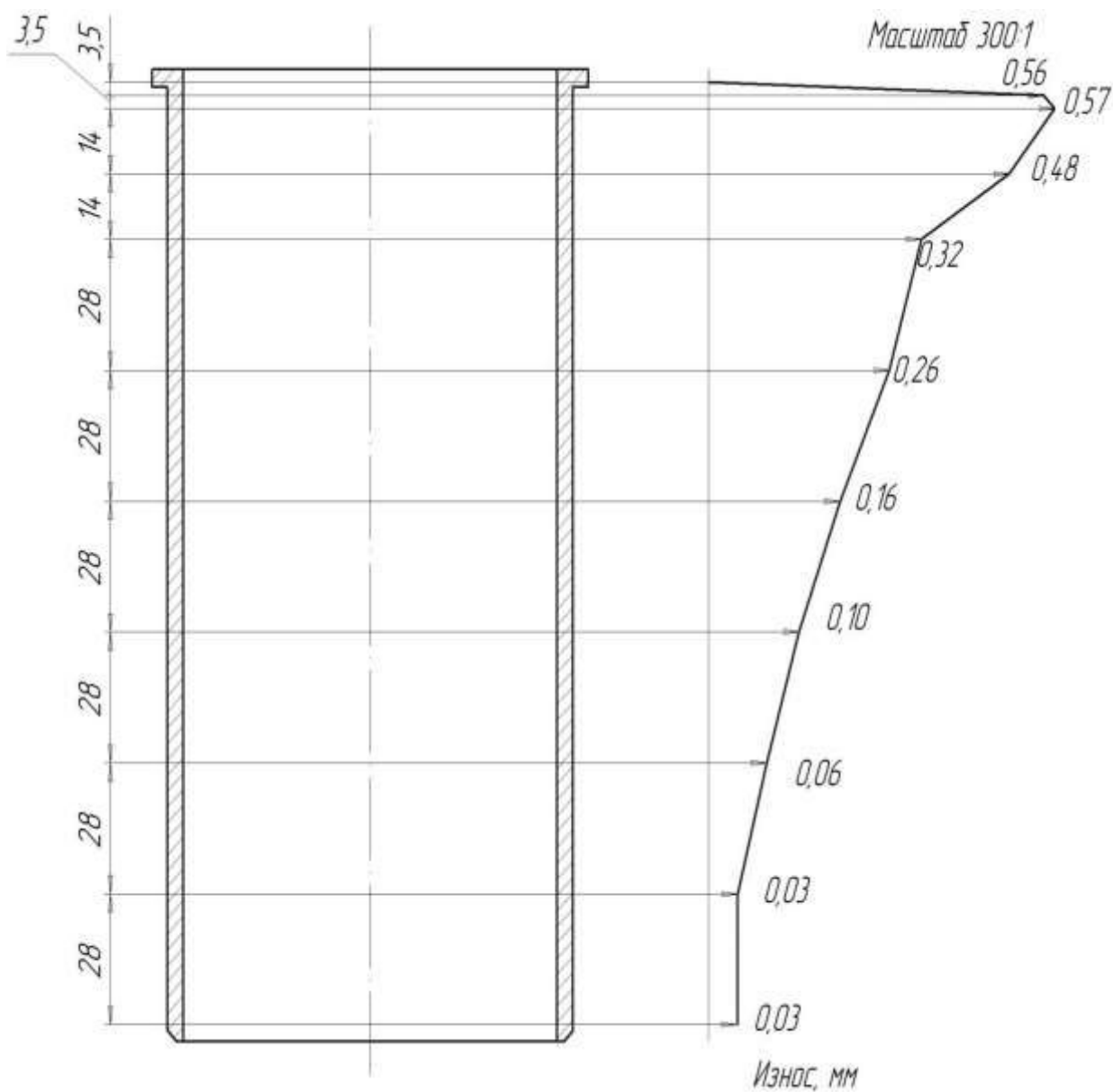


Рисунок 3.3 - Диаграмма износа гильзы по высоте.

3.2 Результаты микрометража гильз и их анализ

Результаты микрометража показывают, что в ремонт поступают двигатели с весьма различной степенью износа гильз цилиндров. В исследованной выборке из 30-и гильз величина максимального износа колеблется от 0,10 мм до 0,57, а величина минимального износа – от 0,03 мм до 0,05 мм.

При этом подтвердилась известная закономерность, что наибольший износ имеет место в верхней части гильзы, а наименьший – в нижней части гильзы.

В целях наглядности представим характерную кривую износа гильз цилиндров, для чего на основании данных микрометража подсчитаем средние значения износа. Расчеты сведем в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 - Среднее значение износа гильз цилиндров.

№ пп	Величина износа, мм		Овальность, мм
	сечения А	сечения Б	
1.	0,56	0,50	0,06
2.	0,57	0,51	0,06
3.	0,48	0,41	0,07
4.	0,32	0,30	0,02
5.	0,26	0,21	0,05
6.	0,16	0,13	0,03
7.	0,10	0,08	0,02
8.	0,06	0,05	0,01
9.	0,03	0,03	0
10.	0,03	0,03	0

Усредненная таким образом гильза имеет в сечении А максимальный износ равной 0,56 мм, и минимальный износ – 0,03.мм, а в сечении Б – 0,50 мм и 0,03 мм соответственно. Максимальная овальность составила 0,07 мм, однако в реальных гильзах овальность достигает значительно больших значений.

Кривая износа, построенная по средним значениям его, представлена на рис.3.4.

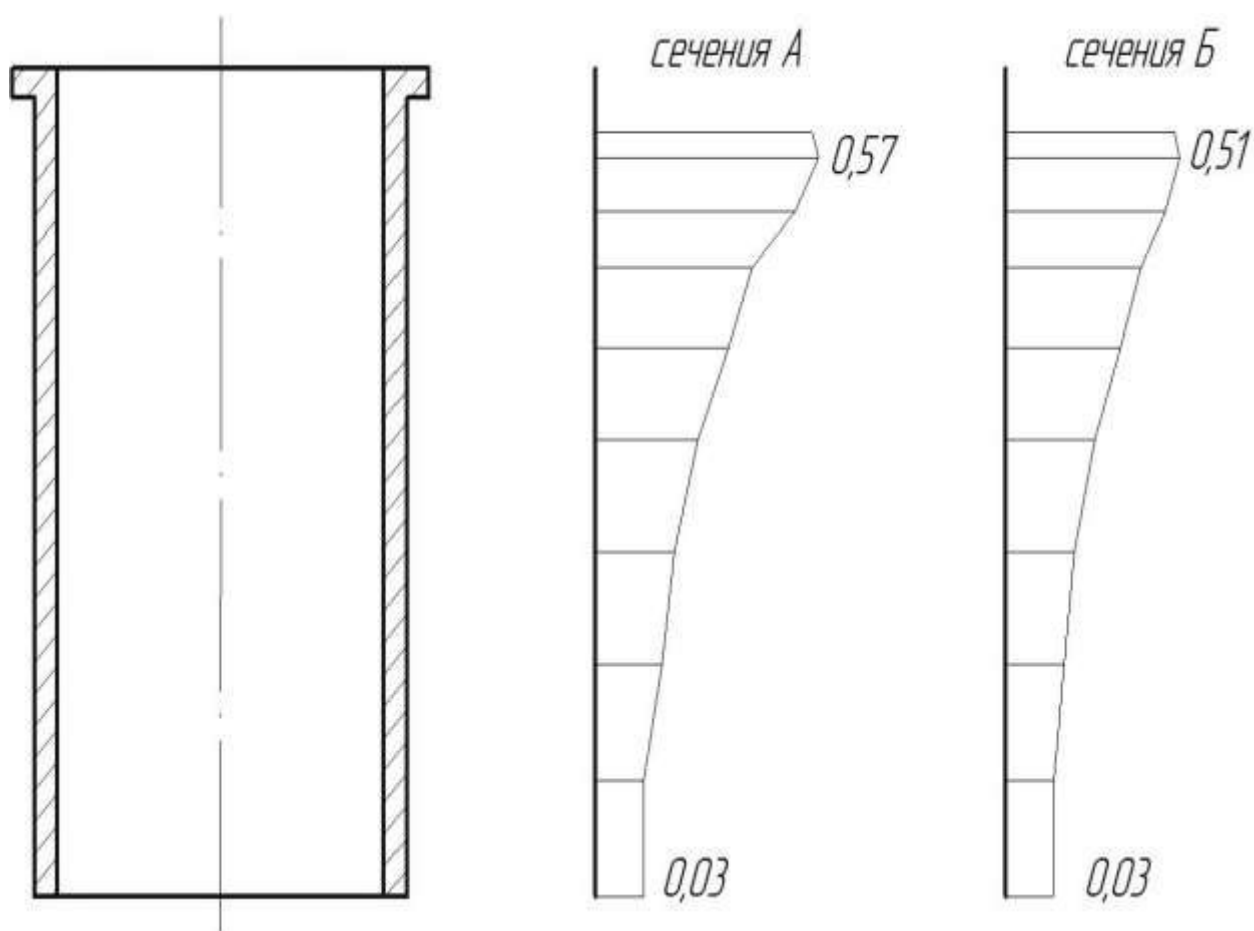


Рисунок 3.4 – Диаграмма износа гильз цилиндров

Однако, для обоснования необходимой величины усадки изношенных гильз цилиндров желательно найти закон распределения максимального их износа.

3.3. Выбор закона распределения износа гильз

3.3.1 Предварительные вычисления

Микрометраж изношенных гильз производился на ремонтно-обслуживающем предприятии по ремонту двигателей Кабицкого и Дрожжановского районов в 2018-2019 гг.

В результате микрометража партии гильз цилиндров двигателя Д-240 в сечении наибольшего износа получены следующие значения износа в мм, ко-

торые расположены в порядке возрастания: 0,03; 0,03; 0,05; 0,06; 0,06; 0,07; 0,07; 0,07; 0,09; 0,10; 0,12; 0,12; 0,14; 0,16; 0,21; 0,22; 0,26; 0,26; 0,31; 0,32; 0,37; 0,38; 0,42; 0,42; 0,46; 0,48; 0,51; 0,52; 0,54; 0,56. Всего 30 замеров.

Определяем зону рассеивания:

$$S = h_{\max} - h_{\min}, \quad (3.2)$$

$$S = 0,57 - 0,03 = 0,54 \text{ мм.}$$

Значение разряда (интервалов) K :

$$K = \sqrt{n}, \quad (3.3)$$

$$K = \sqrt{30} = 5,5.$$

Принимаем $K = 6$.

Вычисляем размер длины разряда l :

$$l = \frac{S}{K}, \quad (3.4)$$

$$l = \frac{0,54}{6} = 0,09 \text{ мм.}$$

Определяем величину сдвига c из условия:

$$t_{\min} \geq c \geq t_{\min} - \frac{l}{2}, \quad (3.5)$$

$$0,03 \geq c \geq 0,03 - \frac{0,09}{2}.$$

Получаем $c = 0,13$.

Первый разряд соответственно имеет вид:

$$a_1 = c = 0,13.$$

Значение b_k принимаем из условия:

$$t_{\max} + \frac{l}{2} \geq b_k \geq t_{\max}, \quad (3.6)$$

$$0,57 + \frac{0,09}{2} \geq b_k \geq 0,57$$

Получаем $b_k = 0,57$ мм. Уточняем длину разряда

$$l = \frac{b_k - a_1}{K}, \quad (3.7)$$

$$l = \frac{0,57 - 0,03}{6} = 0,09 \text{ мм.}$$

3.3.2 Разработка данных статистического ряда для построения графиков

Таблица 3.3 – Результаты статистики измерения гильз

i	Разряды		h_i	l_i	m_i	$\hat{q}_i = \frac{m_i}{n}$	$\hat{f}_i$	$\hat{F}_i$
	a_i	b_i						
1	0,03	0,12	0,075	0,09	7	0,233	2,59	0,233
2	0,12	0,21	0,165	0,09	10	0,333	3,7	0,567
3	0,21	0,30	0,255	0,09	5	0,167	1,85	0,733
4	0,30	0,39	0,345	0,09	4	0,133	1,48	0,867
5	0,39	0,48	0,435	0,09	2	0,067	0,74	0,933
6	0,48	0,57	0,525	0,09	2	0,067	0,74	1,00

$$\Sigma=30 \quad \Sigma=1$$

здесь a_i – начало i -го разряда;

b_i – конец i -го разряда;

$l_i = b_i - a_i$ – длина i -го разряда, мм;

$t_i = \frac{a_i + b_i}{2}$ – середина i -го разряда, мм;

m_i – частота или число отказавших объектов в i -ом разряде, т. е. в промежутке наработки от a_i до b_i , мм;

$\hat{q}_i = \frac{m_i}{n}$ – частость или статистическая вероятность отказа в i -ом разряде;
де;

$\hat{f}_i = \frac{\hat{q}_i}{l_i}$ – статистическая плотность распределения износа в i -ом разряде,
мм⁻¹;

$\hat{F}_i$ – частота в разряде.

Результаты в графическом виде всех выше проведенных расчетов приведены на рис. 3.5 и рис. 3.6.

3.3.3 Среднеквадратическое отклонение и математическое ожидание с расчетом коэффициента вариации

Расчет математического ожидания и среднеквадратического отклонения представлен в виде формул:

$$\hat{m} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^k (h_i \cdot m_i); \quad (3.8)$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^k (h_i - \hat{m}_i)^2 \cdot m_i}. \quad (3.9)$$

Расчеты сведем в таблицу.

Таблица 3.4 –К расчету m и σ .

i	h_i	m_i	$h_i \cdot m_i$	$(h_i - \hat{m}_i)^2 \cdot m_i$
1	0,075	7	0,53	0,1094
2	0,165	10	1,65	0,0123
3	0,255	5	1,28	0,0151
4	0,345	4	1,38	0,0841
5	0,435	2	0,87	0,1105
6	0,525	2	1,05	0,2113
			$\Sigma=6,76$	$\Sigma=0,543$

$$\hat{m} = \frac{1}{30} \cdot 6,76 = 0,2$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{30-1} \cdot 0,543} = 0,134 \text{ мм.}$$

Коэффициент вариации:

$$V = \frac{\hat{\sigma}}{\hat{m} - c}, \quad (3.10)$$

$$\hat{V} = \frac{0,134}{0,2 - 0,03} = 0,78 \text{ мм.}$$

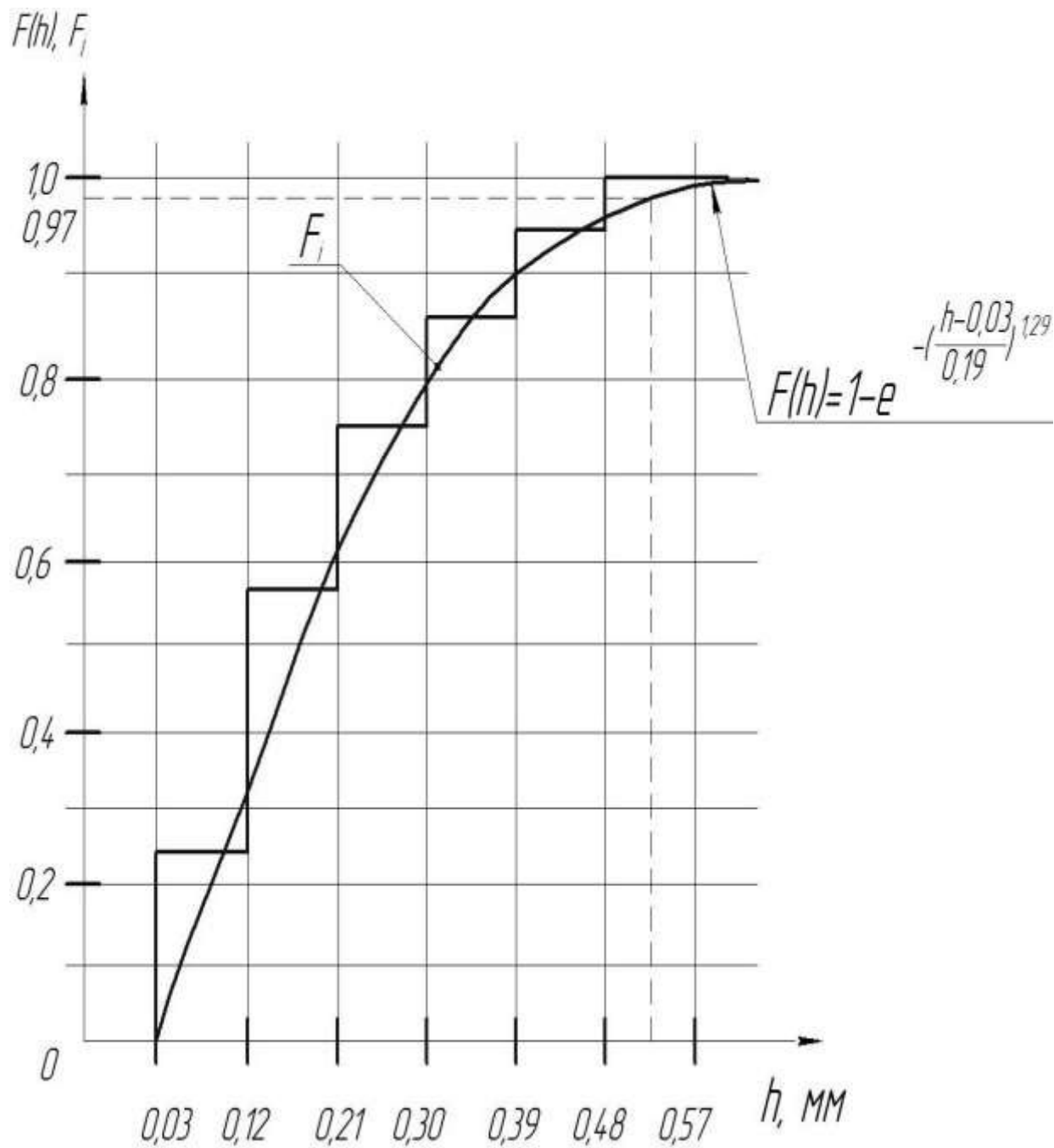


Рисунок 3.5 – Статическая и теоретическая функция распределения износа гильзы.

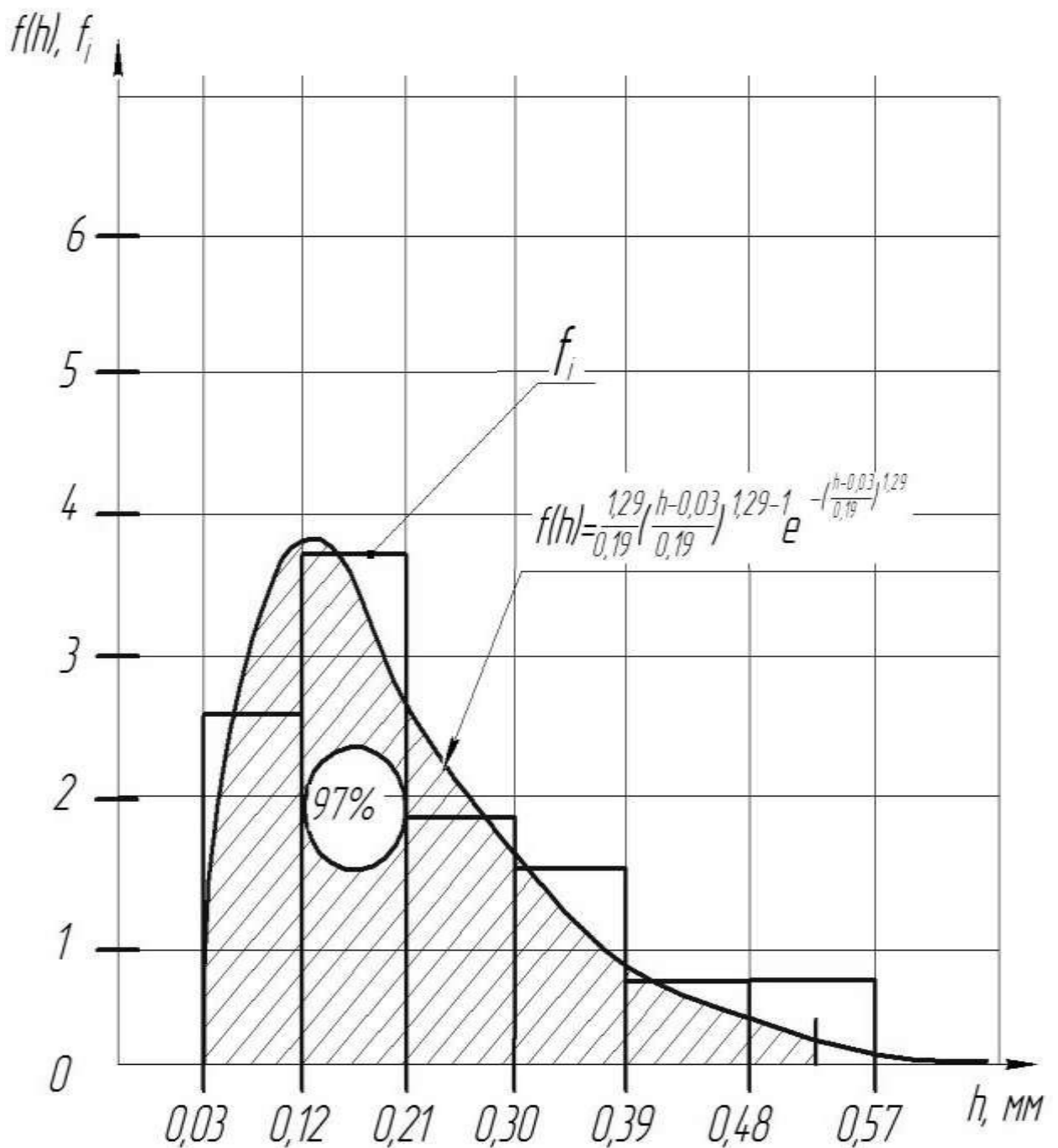


Рисунок 3.6 – Гистограмма и плотность распределения износа гильзы.

3.3.4 Подбор теоретического закона распределения и определение его параметров

Проведя анализ принимаем закон Вейбулла исходя из того, что коэффициент вариации больше, чем 0,5.

Таким образом, мы можем предположить, что величина износа детали подчиняется закону распределения Вейбулла:

$$f(h) = \frac{b}{a} \left(\frac{h-c}{a} \right)^{b-1} e^{-\left(\frac{h-c}{a} \right)^b}; \quad (3.11)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{h-c}{a} \right)^b}, \quad (3.12)$$

где h – износ, мм;

a, b, c – характеристики закона Вейбулла.

Параметр сдвига $c = 0,03$ – определен ранее.

По значению коэффициента вариации из таблицы 2п приложения [1] находим значение параметра b и коэффициента c_b .

При $V=0,78$; $b=1,29$; $c_b = 0,72$.

Находим значение параметра a по формуле:

$$a = \frac{\sigma}{c_b}. \quad (3.13)$$

$$a = \frac{0,134}{0,72} = 0,186 \text{ мм.}$$

Итак принимаем $a = 0,19$; $b = 1,29$; $c = 0,03$.

Тогда предполагаемый теоретический закон примет вид:

$$f(h) = \frac{1,29}{0,19} \left(\frac{h-0,03}{0,19} \right)^{0,29} \cdot e^{-\left(\frac{h-0,03}{0,19} \right)^{1,29}}; \quad (3.14)$$

$$F(h) = 1 - e^{-\left(\frac{h-0,03}{0,19} \right)^{1,29}}. \quad (3.15)$$

3.3.5 Теоретические графики распределения

Для расчета этих графиков используем вышеприведенные формулы 3.14 и 3.15. данные расчетов сводим в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – К расчету $F(h)$ и $f(h)$

h	0,03	0,075	0,12	0,165	0,21	0,255	0,30	0,345	0,39	0,435	0,48	0,525	0,57
$F(h)$	0	0,15	0,31	0,47	0,61	0,71	0,79	0,85	0,90	0,93	0,95	0,97	0,98
$f(h)$	0	3,81	3,75	3,27	2,62	2,07	1,58	1,18	0,85	0,59	0,43	0,27	0,18

3.3.6 Определение сходимости статических и теоретических данных

По формуле определяем меру расхождения χ^2 .

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - nq_i)^2}{nq_i}, \quad (3.16)$$

Расчеты сведем в таблицу 3.6.

Значение расхождения выглядит следующим образом:

$$q_i = F(b_i) - F(a_i), \quad (3.17)$$

Таблица 3.6 – Расчет среднеквадратического отклонения χ^2

i	m_i	q_i	nq_i	$\frac{(m - nq)^2}{nq_i}$
1	7	0,31	9,3	0,569
2	10	0,30	9	0,111
3	5	0,18	5,4	0,029
4	4	0,11	3,3	0,148
5	2	0,05	1,5	0,166
6	2	0,03	0,9	1,344

$\Sigma=2,367$

Итак, $\chi^2 = 2,367$.

Расчет степеней свободы:

$$r = k - (\varphi + 1), \quad (3.18)$$

$$r = 6 - (2 + 1) = 3.$$

3.4 Методика оценки термического обжата гильз

Эксперименты проводились на установке автоматической наплавки УД 209. При этом в качестве источника питания использовался серийный трансформатор марки ВДУ-506. На рисунке 3.7 приведен общий вид этой установки.



Рисунок 3.7 – Наплавочная установка УД - 209.

зико-механические свойства шва являются: скорость наплавки v , шаг наплавки s , материал и диаметр наплавочной проволоки d , скорость подачи наплавочной проволоки v_n , напряжения U , сила тока J , вылет проволоки l и величина смещения мундштука от зенита α .

На основании анализа литературных источников [32] и предварительных опытов установлено, что главным факторами, при прочих равных условиях, являются: скорость наплавки, шаг наплавки и сила тока. Основная серия опытов проводилась при различных значениях этих трех факторов. Перед началом наплавки гильза тщательно очищалась, подвергалась микрометрижу по описанной выше методике, кроме этого замерялись длина гильзы и диаметры посадочных поясков. После наплавки и остывания гильзы до комнатной температуры все замеры повторялись и вычислялись величина усадки гильзы как по диаметру во всех плоскостях и сечениях, так и по ее длине.



Рисунок 3.8 – Сменные шестерни УД – 209.

Для измерения силы сварочного тока на установке имеется амперметр, смещение с зенита легко измерить, шаг наплавки является жестко фиксированным путем установки сменных шестерен. Эти три параметра легко поддаются контролю в процессе наплавки. Что касается скорости наплавки и скорости подачи электродной проволоки, то их значения в процессе наплавки будут неизвестны, если не произвести предварительные расчеты к тарировке. На установке УД209 нет тахометра, показывающего частоту вращения шпинделя. Для перевода показаний вольтметра в частоту вращения шпинделя опытным путем с помощью секундомера была составлена тарировочная таблица (табл. 8) и построен тарировочный график (рис. 3.10 и рис. 3.11).

Таблица 3.8 - Тарировочная таблица по скорости наплавки.

Показания вольтметра, V	Частота вращения гильзы, мин^{-1}	Скорость наплавки, м/ч
10	0,115	2,82
20	0,234	5,73
30	0,359	8,79
40	0,484	11,85
50	0,600	14,69
60	0,723	17,71
70	0,845	20,69
80	0,968	23,71
90	1,091	26,72
100	1,224	29,98
105	1,264	30,96
110	1,304	31,94
120	1,446	35,41
125	1,520	37,23

Определяем частоту вращения шпинделя:

$$n = \frac{k \cdot 60}{t}, \text{мин}^{-1} \quad (3.19)$$

где k – количество измеряемых оборотов;

t – время замера, с

Расчеты сведем в таблицу 3.9.

Таблица 3.9 – Тарифовочная таблица по частоте вращения.

п/п	Время трех оборотов шпинделя		Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹
	В секундах	В минутах	
1.	1565	26'5"	0,115
2.	249	4'9"	0,723
3.	118,4	1'58,4"	1,52



Рисунок 3.9 – Процесс наплавки гильзы под флюсом.

Скорость наплавки определяем по формуле:

$$g = 60 \cdot \pi \cdot D \cdot n, \quad (3.20)$$

где g - скорость наплавки, м/ч;

$$\pi = 3,14;$$

$D = 0,13$ наружный диаметр гильзы, м;

n - частота вращения шпинделя, мин^{-1} .

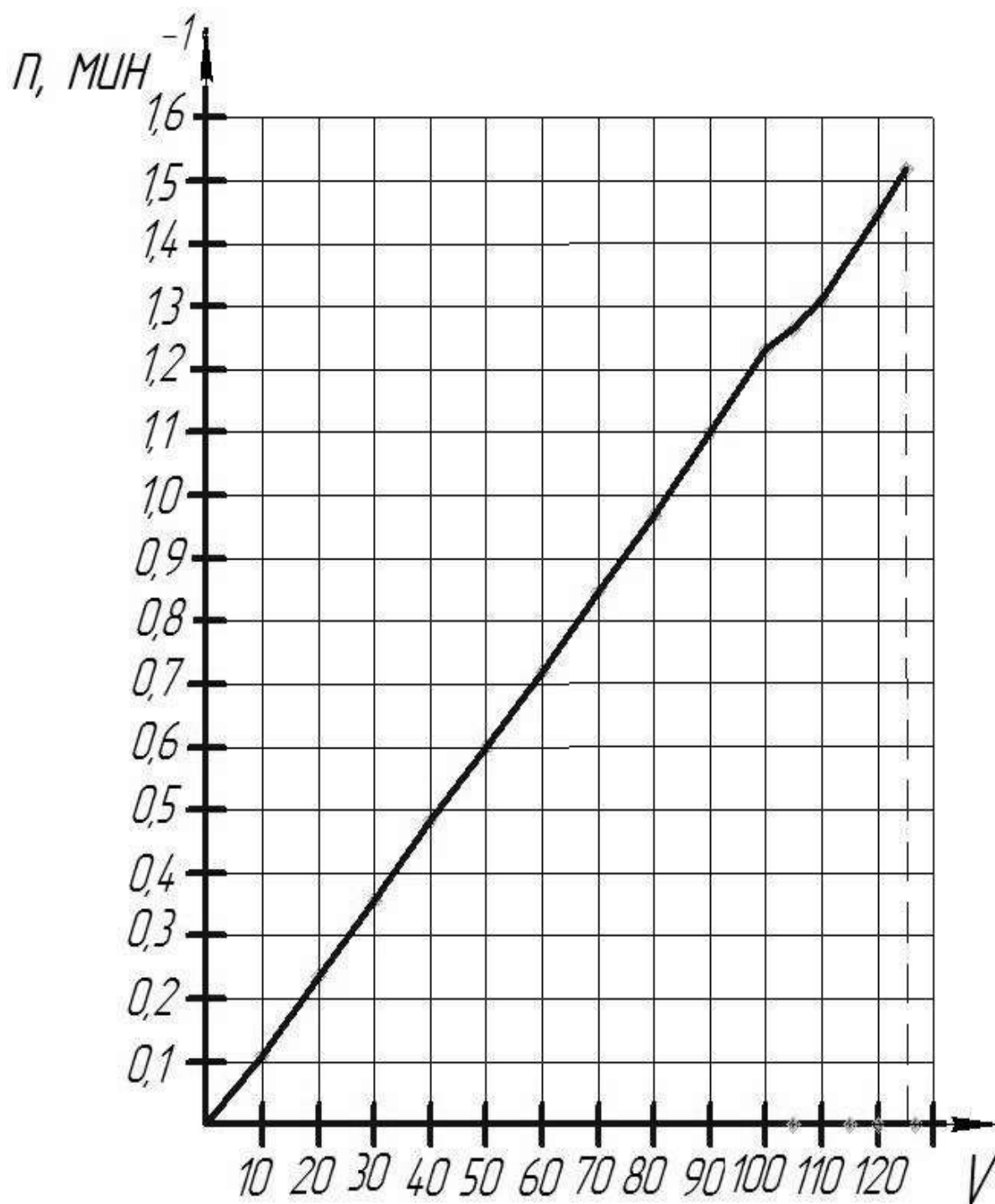


Рисунок 3.10 – Тарировочный график частоты вращения от показаний вольтметра наплавочной установки.

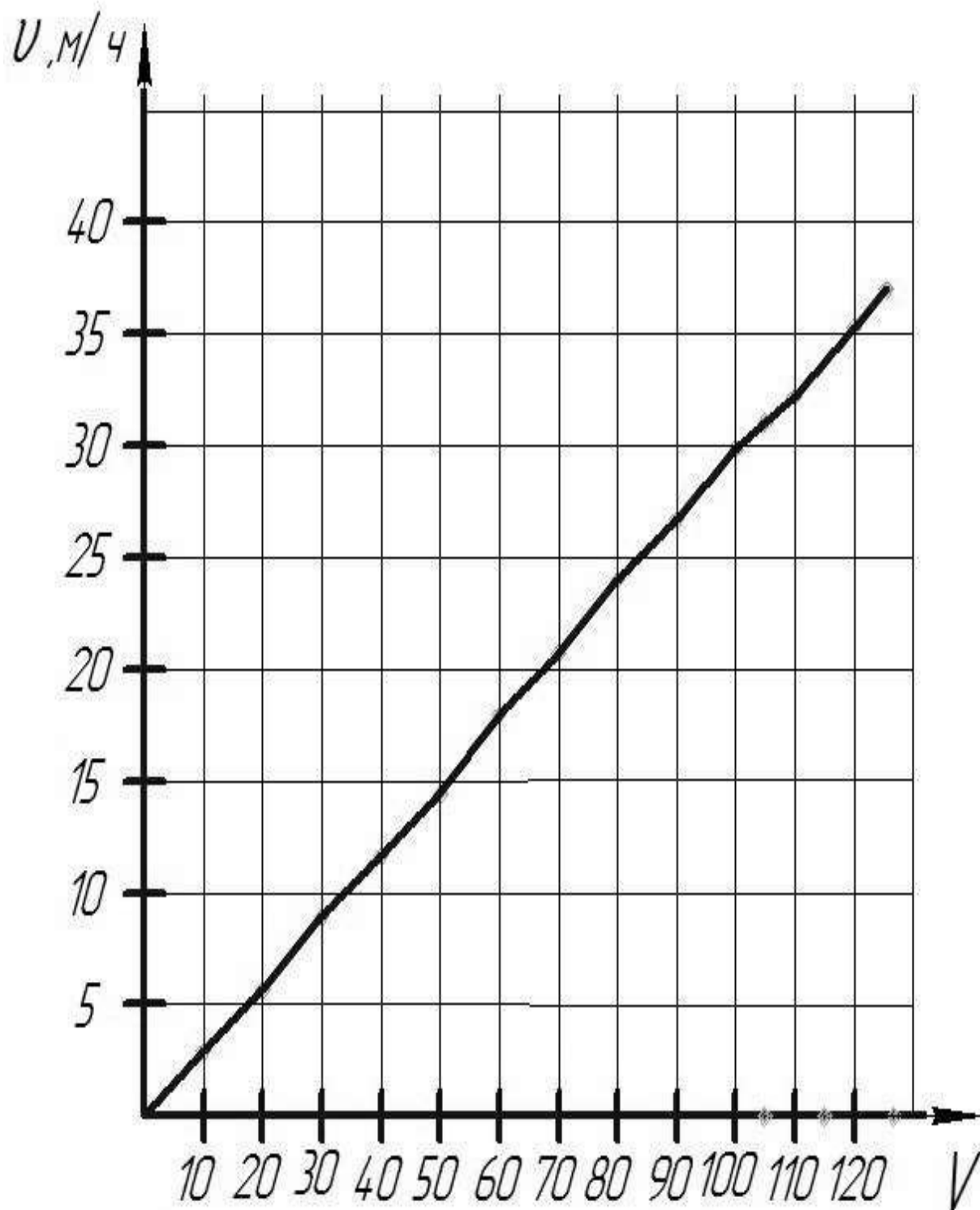


Рисунок 3.11 – Тарировочный график скорости наплавки от показаний вольтметра наплавочной установки.

Частоту вращения определяли, засекая время, в течение которого шпиндель совершает три полных оборота.

Аналогичным способом определялась скорость подачи электродной проволоки и была составлена тарировочная таблица (табл. 3.10).

Таблица 3.10 - Тарировочная таблица по скорости подачи проволоки.

№ варианта пар шесте- рен	Число зубьев сменных шес- терен		Скорость подачи проволоки, м/ч	
	Z_1	Z_2	При диаметре ролика 50 мм	При диаметре ролика 60 мм
1	18	42	120	144
2	20	40	139	168
3	24	36	186	224
4	26	34	213	257
5	28	32	244	293
6	30	30	279	335
7	32	28	318	383
8	34	26	364	439
9	36	24	418	502
10	40	20	557	671
11	42	18	650	782

3.5 Ошибки измерений

В соответствии с формулой (3.22) относительная ошибка измерения частоты вращения шпинделя составит:

$$\frac{\Delta n}{n} = \frac{\Delta k}{k} + \frac{\Delta t}{t} = 1,6\% + 1\% = 2,6\%$$

Относительная ошибка измерения скорости наплавки в соответствии с формулой (3.23) составит:

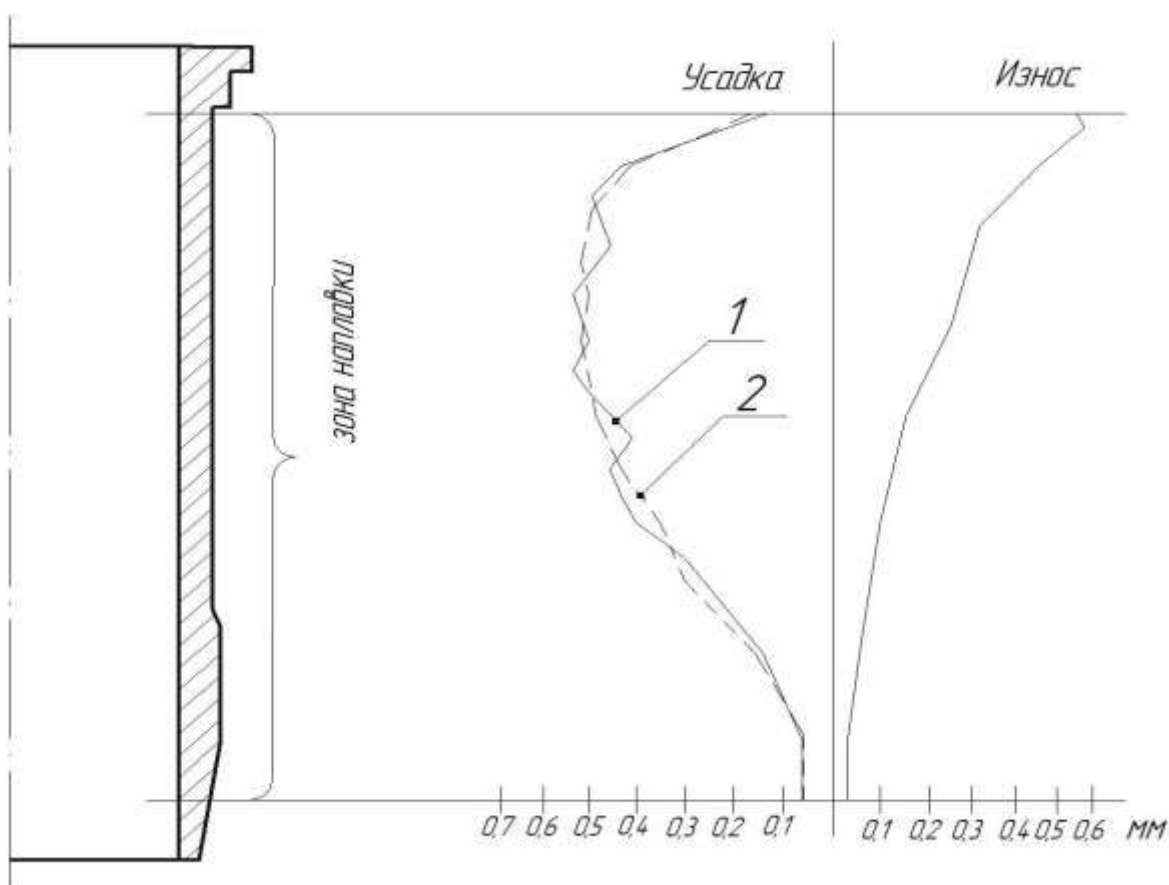
$$\frac{\Delta \vartheta}{\vartheta} = \frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta n}{n} = 0,1\% + 2,6\% = 2,7\%$$

3.6 Анализ экспериментальных исследований

После наплавки остывание гильзы подвергались микрометрированию по той же методике, что и до наплавки. Результаты микрометража представлены в таблице 3.11, а так же на рисунке 3.12 в виде диаграммы.

Таблица 3.11 – Результаты замера гильзы после усадки

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h_i	0,14	0,25	0,43	0,51	0,50	0,48	0,41	0,32	0,22	0,09	0,06



1 – под флюсом; 2 – без флюса.

Рисунок 3.12 – Диаграмма усадки цилиндра

Как и предполагалось, диаграмма усадки имеет неравномерный вид – минимальная усадка в верхней и нижней части гильзы и максимальная усадка в средней части гильзы.

На рисунке 3.12 показан характер усадки в зависимости от вариантов наплавки. В ходе эксперимента наплавку вели как под флюсом АН-348А, так и без флюса. Сравнивая результаты можно сделать вывод о том, что применение флюса не дает преимуществ с позиций величины усадки гильзы, а что касается качества шва, то в данном случае это не имеет существенного значения. Учитывая это и имея в виду, что применение флюса сопряжено с дополнительными затратами, дальнейшие опыты проводились без применения флюса.

В ходе эксперимента опытным путем подбирались такие параметры как вылет электрода, смещение с зенита, величина тока и напряжения. Проводились опыты при различных значениях скорости наплавки, шага наплавки и скорости подачи электродной проволоки. Вылет электрода составлял 13...20 мм, смещение с зенита – 8...14 мм. Сила тока составляла 320...425А, напряжения 12...23В.

Эксперименты с различным шагом наплавки показали, что чрезмерное уменьшение шага в погоне за большой усадкой гильзы приводит к значительным искажениям геометрической формы. Мало того, вместо усадки в этой зоне происходит расширение гильзы, вызванное чрезмерно большой величиной усадки в середине гильзы. Так, гильза при шаге наплавки равным 7,4 мм имеет в середине гильзы максимальную усадку 1,44 мм, а в зоне уплотнительных колец вместо усадки получилось увеличение диаметра гильзы на 0,07 мм. При увеличении шага наплавки 8,6 мм/об, при прочих равных условиях, максимальная усадка в середине гильзы составила 1,11 мм.

Анализируя результаты экспериментов, можно сделать выводы о том, что усадка гильзы по ее высоте крайне неравномерна, имея максимальное значение в середине гильзы (0,66) и минимальное – в зоне опорного бурта (0,04...0,06). В непосредственной близости от верхнего установочного бурта величина усадки резко падает и составляет 0,15...0,18 мм.

Таким образом, измерять осаженную гильзу следует в трех сечениях: в середине и на расстоянии около 30 мм от торцов гильзы. Замеры эти нужно

делать в двух взаимно – перпендикулярных плоскостях, так как овальность в отдельных сечениях достигает 0,10...0,15 мм.

Кроме этого в ходе экспериментов отмечено укорачивание гильз на величину до 1,1 мм, а также уменьшение диаметра верхнего посадочного пояска на величину до 0,6 мм и нижнего на 0,3 мм.

ГЛАВА 4

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГИЛЬЗ МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО ОБЖАТИЯ

При реализации технологии термического обжата путем наплавки наружной части гильзы необходимо выдерживать следующие режимы:

скорость наплавки	24...32 м/ч;
шаг наплавки	8,6...10 мм/об;
скорость подачи проволоки	150...210 м/ч;
вылет электрода	11...19;
диаметр электродной проволоки	1,5...2,5
смещение с зенита	6...14 мм;
сила тока	320 400 А;
напряжения	15...25 В.

Эти режимы являются ориентировочными и могут уточняться для каждой конкретной наплавочной установки.

При разработке технологической карты на восстановление гильзы будем исходить из вышеприведенных режимов наплавки. Режимы механической обработки взяты на основе типовой технологии и имеющегося опыта.

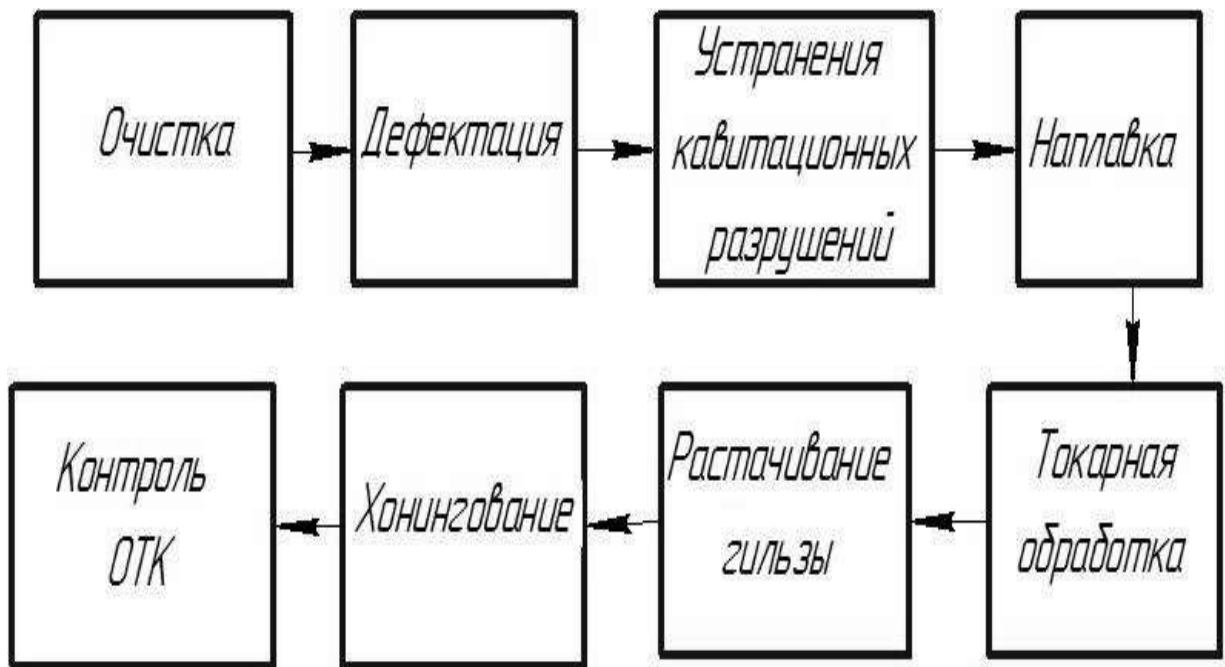


Рисунок 4.1 - Схема технологических процессов

4.1 Расчет норм времени.

Расчет проводился исходя из структуры нормы времени:

$$T_H = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n}, \text{ мин.} \quad (4.1)$$

где T_H - норма времени на одну деталь, мин;

$T_{пз}$ - подготовительно заключительное время, мин;

n - количество деталей в партии.

$$T_{шт} = T_{оп} + T_{доп}, \text{ мин.} \quad (4.2)$$

где $T_{оп}$ - оперативное время, мин;

$T_{доп}$ - дополнительное время, мин (берется в процентах от $T_{оп}$).

$$T_{оп} = T_O + T_B, \text{ мин.} \quad (4.3)$$

где T_o - основное время, мин;

T_B - вспомогательное время, мин.

4.1.1. Автоматическая наплавка

Найдем основное время

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot S}, \text{ мин.} \quad (4.4)$$

где L - длина наплавки, мм;

i - число проходов;

n - частота вращения детали, мин^{-1} ;

S - шаг наплавки, мм.

В нашем случае

$$i = 1; S = 10 \text{ мм};$$

$$L = 190 \text{ мм}; \quad (\text{рис. 3.12});$$

$$n = \frac{v}{60 \cdot \pi \cdot D} = \frac{28}{60 \cdot 3,14 \cdot 0,13} = 1,14 \text{ мин}^{-1};$$

здесь v - скорость наплавки, м/ч

$$T_o = \frac{190 \cdot 1}{1,14 \cdot 10} = 16,67 \text{ мин}^{-1};$$

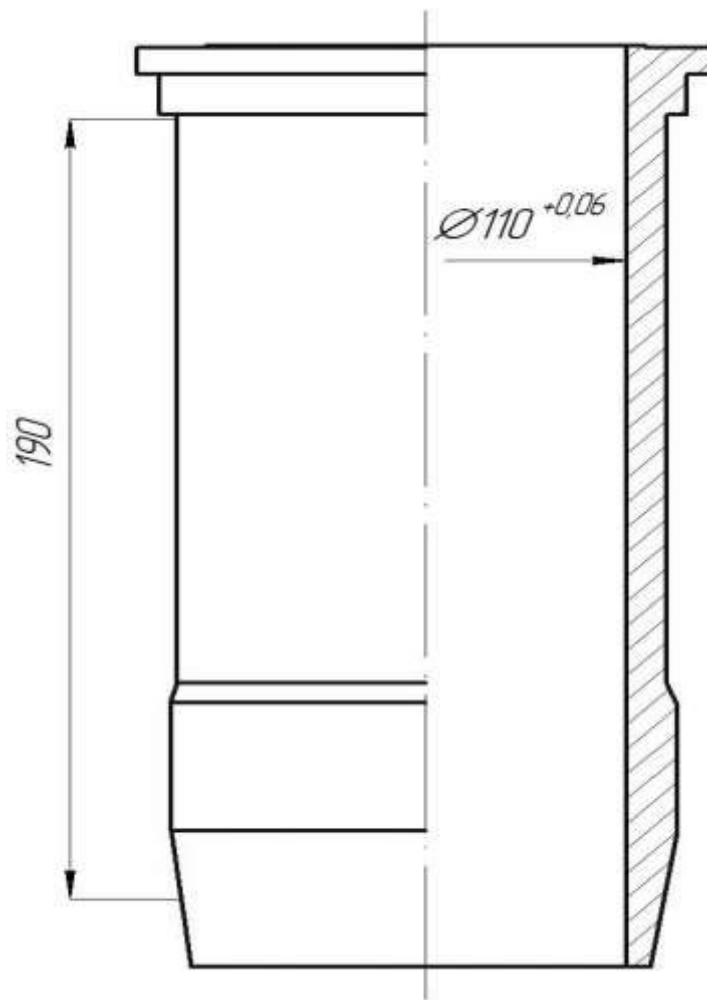


Рисунок 4.2 – Эскиз гильзы цилиндров

Вспомогательное время на установку и снятие гильзы $T_{B'} = 0,8 \text{ мин}$, а на наплавку $T_B = 0,6 \cdot i = 0,6 \cdot 1 = 0,6 \text{ мин}$.

$$T_{ПЗ} = 17 \text{ мин}$$

$$T_{оп} = T_{B'} + T_O + T_B;$$

$$T_{оп} = 0,8 + 17 + 0,6 = 18,4 \text{ мин};$$

$$T_{шт} = T_{оп} + T_{доп} = 1,15 \cdot T_{оп} = 1,15 \cdot 18,4 = 21,2 \text{ мин}.$$

4.1.2. Токарная обработка наружной поверхности гильзы

Припуск равен 2 мм;

Глубина обработки – 1 мм, $i=2$;

$v = 75$ м/мин; $n=160$ мин⁻¹; $S=0,3$ мм.

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot S} = \frac{190 \cdot 2}{160 \cdot 0,3} = 7,92 \text{ мин.}$$

$$L=190 \text{ мм.}$$

Вспомогательное время на установку и снятие гильзы равно 0,8 мин, а связанные с обтачиванием - $0,5i$.

Итак, $T_{оп} = 0,8 + 0,5 \cdot 4 + 0,8 = 3,6 \text{ мин.}$

$$T_{оп} = T_o + T_B = 7,92 + 3,6 = 11,52 \text{ мин.}$$

$$T_{доп} = 0,08 \cdot T_{оп} = 0,08 \cdot 11,52 = 0,92 \text{ мин.}$$

$$T_{шт} = 11,52 + 0,92 = 12,44 \text{ мин.}$$

$$T_{пз} = 9 \text{ мин.}$$

4.1.3. Растачивание гильзы

$$S = 0,05 \text{ мм.}$$

$$n = 850 \text{ мин}^{-1};$$

$$v = 347 \text{ м / мин.}$$

$$i = 1.$$

$$T_o = \frac{284 \cdot 1}{850 \cdot 0,05} = 6,68_{мин.}$$

Вспомогательное время на установку в кондукторе и снятие гильзы равно 1 мин, а связанное с растачиванием - $0,5 \cdot i$.

Итак, $T_B = 1 + 0,5 + 1 = 2,5_{мин.}$

$$T_{оп} = T_o + T_B = 6,68 + 2,5 = 9,18_{мин};$$

$$T_{доп} = 0,08 \cdot T_{оп} = 0,08 \cdot 9,18 = 0,73_{мин};$$

$$T_{шт} = T_{оп} + T_{доп} = 9,18 + 0,73 = 9,91_{мин};$$

$$T_{пз} = 9_{мин}.$$

4.1.4. Хонингование гильзы.

а) предварительное

Припуск равен 0,02 мм;

$$v = 82 м / мин;$$

$$n = 200_{мин}^{-1};$$

удельное давление брусков $1,2 Н / мм^2$;

скорость подачи головки $18 м / мин$.

Вспомогательное время на установку гильзы 1,6 мин, на снятие – 0,4 мин, на обработку – 1 мин. Основное время $T_o = 5 мм$.

б) окончательное

$$T_o = 1_{мин}; T_B = 1_{мин}.$$

Итак, общее $T_B = 1,6 + 0,4 + 1 + 1 = 4 \text{ мин};$

Общее $T_O = 5 + 1 = 6 \text{ мин};$

$$T_{OP} = T_O + T_B = 6 + 4 = 10 \text{ мин};$$

$$T_{шт} = 1,15 \cdot T_{OP} = 1,15 \cdot 10 = 11,5 \text{ мин};$$

$$T_{пз} = 20 \text{ мин}.$$

4.1.5. Дефектация и контроль

При размерах $T_{шт} = 0,7 \text{ мин};$

при визуальном осмотре $T_{шт} = 0,3 \text{ мин}; \quad T_{пз} = 12 \text{ мин}.$

$$T_{шт} = 0,7 + 0,3 = 1 \text{ мин}.$$

Итого, суммарная норма времени на восстановление одной гильзы с учетом подготовительно-заключительного времени составляют 63 минуты, т.е. около одного часа.

Расчет технико-экономических показателей восстановления гильзы приведен в приложении 2..

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Характер износа гильз цилиндров имеет классический вид: максимальный износ наблюдается в верхней части гильзы, постепенно уменьшаясь по мере приближения к нижнему обрезу гильзы.

2. Максимальный износ распределяется по закону Вейбулла и находится в пределах от 0,03 мм до 0,57 мм. Причем две трети (66%) гильзы имеют износ не более 0,3 мм. Поэтому для их восстановления под первоначальный размер (нормальный или ремонтный) нужно с учетом припуска на механическую обработку подвергнуть их усадке на 0,3...0,5 мм.

3. Эксперименты по усадке гильз посредством их наплавки с наружной стороны подтвердили принципиальную возможность такого способа восстановления.

4. Усадка гильзы по ее высоте крайне неравномерна. В районе верхней мертвой точки усадка составляет 0,15...0,18 мм, увеличиваясь к середине гильзы до 0,66 мм, затем уменьшаясь до минимума (0,04...0,06) в области нижнего обреза гильзы. Такая неравномерность усадки объясняется тем, что гильза имеет различную величину стенок по высоте.

5. В результате наплавки гильза уменьшается не только в диаметре, но и по длине. Уменьшение длины составляет 0,9...1,1 мм.

6. Рекомендуемые режимы наплавки:

Скорость наплавки	24...32 м/ч;
Шаг наплавки	8,6...10 м/об;
Скорость подачи проволоки	150...210 м/ч;
Диаметр электродной проволоки	1,5...2,5 мм;
Вылет электрода	11...19 мм;

Смещение с зенита	6...14 мм;
Сила тока	320...400А;
Напряжение	15...25 В.

Режимы уточняются практически на каждой конкретной наплавочной установке.

7. Износостойкость рабочих поверхностей гильз цилиндров после термического обжата остается на уровне износостойкости гильз, восстановленных методом расточки под ремонтный размер.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Актуальные вопросы механизации сельскохозяйственного производства // Юбилейный сб. науч. труд./ Казанская гос. СХА. Казань, 1997. – 315 с.
2. Андрейченко В.Н. и др. Причины натиров гильз цилиндров дизеля КАМАЗ – 740 / В.Н. Андрейченко, М.А. Григорьев, В.Т. Занребин // Автомобильная пром-ть. – 1991. – С. 19-20.
3. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 200 с.
4. Асташкевич Б.М. Комплексные методы упрочнения деталей цилиндропоршневой группы тепловозных двигателей: Автореф. дис. ...д-ра техн.наук. – М., 1987.- 42с.
5. Асташкевич Б.М. Механизмы изнашивания деталей ЦПГ тепловозных дизелей // Повышение износостойкости деталей ДВС.- М.: 1992. – С.5 – 12.
6. Балезин С.А. и др. Коррозия азотированной стали продуктами сгорания сернистого топлива / С.А. Балезин, И.С. Солодкин, Л.М. Романцев // Борьба с коррозией ДВС и газотурбинных установок. – М.: Машиностроение, 1992. – С. 45-48.
7. Болтинский В.Н. Теория, конструирование и расчет трансмиссий и автотракторных двигателей. – М.: Сельхозиздат, 1982. – 771с.
8. Бугаев В.И. Эксплуатация и ремонт форсированных тракторных двигателей. – М.: Колос, 1981. – 208 с.
9. Венцель С.В. Смазка и долговечность двигателей внутреннего сгорания. – Киев: техника, 1977. – 208 с.

10. Венцель С.В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания. – М.: Химия, 1979. – 237 с.
11. Гаркунов Д.Н. Триботехника. Износ и безызносность / Д.Н. Гаркунов. – М.: Манинстроение, 2001. – 616 с.
12. Грехов И.Н. Восстановление деталей центробежной наплавкой // Автомобильная промышленность. – 1997. - №3. – С. 32-33.
13. Григорьев М.А., Пономарев Н.Н. Износ и долговечность автомобилей
14. Григорьев М.А. и др. Основные причины изнашивания деталей цилиндропоршневой группы двигателей ЯМЗ / М.А. Григорьев, С.В. Лебедев, С.Н. Федоров // Автомобильная промышленность. – 1994. - №2. – С.10 – 13.
15. Демкин Н.Б., Рыжов Э.В. Качество поверхности контактирующих деталей [Текст] / Н.Б. Демкин. – М.: Машиностроение, 1981. – 242 с.
16. Ждановский Н.С., Николаенко А.В. Надежность и долговечность автотракторных двигателей. – Л.: Колос, 1981. – 295 с.
17. Жуленков В.И. Исследование некоторых вопросов оценки ремонтных предприятий в сельском хозяйстве: дис. ... канд. техн. наук. – Ульяновск, 1974. – 151 с.
18. Зубиетова М.П., Пустовалов И.В. Влияния условий работы двигателя Д-240 на износостойкость его деталей // Тракторы и сельхозмашины. – 1988. - №2. – С. 6-8.
19. Исследование износостойкости пар трения поршень – гильза двигателей Д-37 и А-41 и разработка способа восстановления гильз цилиндров методом усадки: отчет о НИР (заключ.); №19 – МХ/93 / Казанский с.-х. ин-т.; рук.работы Г.И. Кондратьев. – Казань, 1993. – 58 с.

20. Карпенков В.Е. Исследование способа твердого осталивания применительно к восстановлению цилиндров ДВС: дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 1968. – 118 с.
21. Катец Н.В. и др. Металлизация напылением. – М.: Машиностроение, 1966. – 200 с.
22. Когородский М.В. Влияния высокодисперсных частиц в масле на приработку пар трения. – М.: Наука, 1965. – 103 с.
23. Костецкий Б.И., Натансон М.Э., Бершадский Л.И. Механохимические процессы при граничном трении. – М.: Наука, 1973. – 107 с.
24. Костюков А. Ю. Восстановление гильз цилиндров дизельных двигателей сельскохозяйственной техники термопластическим деформированием в матрице: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 Москва, 2006. - 237 с.
25. Корнейчук И.Н. Гальваномеханической способ восстановления деталей машин // Новые технологические процессы восстановления деталей машин. – Кишинев: Штиинца, 1988. – С. 10-21.
26. Лимарев В.Я., Ерохин М.Н., Пучин Е.А. Материально – техническое обеспечение агропромышленного комплекса. – М.: Известия, 2002. – 464 с.
27. Моисеев В.В. Повышение межремонтного ресурса гильз цилиндров автомобильных двигателей центробежным индукционным напеканием в условиях ремонтных предприятий Госагропрома: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1987. – 283 с.
28. Мохнаткин Э.М. Контактно-гидравлический режим работы цилиндра-поршневой пары // Трение, износ и смазочные материалы/ Тр. междунар. науч. конф. – Ташкент, 1985. – Т. 3, ч.1. – С. 151-159.

29. Некрасов С.С., Моисеев В.В., Канарчук А.Ф. Технология восстановления и повышения износостойкости гильз цилиндров центробежным индукционным напеканием твердосплавным покрытием. – М.: ЦНИИТЭИ. – 1986. – Вып. 5. – С.3 – 4.

30. Надежность и ремонта машин / В.В. Курчаткин и др.; под ред. В.В. Курчаткин. – М.: Колос, 2000. – 776 с.

31. Основы ремонта машин / Ю.Н. Петров и др.; под ред. Ю.Н. Петрова. – М.: Колос, 1972. – 527 с.

32. Петров Ю.Н., Косов В.П., Стратулат М.П. Ремонт автотракторных деталей гальваническими покрытиями. – Кишинев: Карте Молдавениянска, 1976. – 152 с.

33. Пучин Е.А., Новиков В.С., Очковский Н.А. и др.; Технология ремонта машин / Под ред. Пучина Е.А. – М.: Колос, 2007.- 488 с.

34. Рекомендации по восстановлению гильз цилиндров автотракторных двигателей. – М.: ГОСНИТИ, 1977. – 36 с.

35. Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. – Киев: Наука думка, 1984. – 271 с.

36. Рыжов Э.В., Суслов А.Г., Федоров В.П. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств машин. – М.: Машиностроение, 1979. – 176 с.

37. Саляхов И.Р., Кондратьев Г.И. Исследование износа гильз цилиндров двигателя д-240. – статья. - Казань: КГАУ. 2015. - 3с.

38. Сергеевич А.П. Исследование электрохимического шлифования применительно к ремонту автотракторных деталей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Красноярск, 1970. – 21 с.

39. Соболев Н., Титуниин Б., Соловцев Е. Ремонт цилиндров гильзовкой сменными пластинами // Автомобильная пром-ть. – 1973. - №11. – С. 35.

40. 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.

41.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.

42. Способ восстановления изношенной боковой поверхности деталей типа втулки: А.С. 1205423 СССР/ В.П. Нечаев, В.И. Ахметов, Б.Л. Таубин. – Заявл. 29.07.75. Оpubл. 27.04.78. – Бюл. №3.

43. 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.

44. Суранов Г.И. Уменьшение износа автотракторных двигателей пуске. – М.: Колос, 1982. – 89 с.

45. Таннинг Л. Исследование закономерностей изнашивания и совершенствование технологии и организации ремонта двигателей моделей ЗМЗ: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. – Л., 1979. – 285 с.

46. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве / В.В. Курчаткин [и др.].- М.: Издательский центр «Академия», 2008.- 460 с.

47. Технологические процессы восстановления основных деталей двигателя ЗИЛ – 130/ ВНПО «Ремдеталь». – М., 1986. – 280 с.

48. Хасуй А. Техника напыления. – М.: Машиностроение, 1975. – 288с.

49. Унифицированный технологический процесс восстановления гильз цилиндров / В.П. Лялякин и др.; ВНПО «Ремдеталь». – М., 1982. – 25 с.

50. Усенко В.И. Исследование размерно-упрочняющей обработки гильз цилиндров автомобильных двигателей: дис. ... канд. техн. наук. – Владимир, 1974. – 247 с.

51. Хрулев А.Э. Ремонт двигателей зарубежных автомобилей: производственно-практическое издание. – М.: За рулем, 1999, - 440 с.

52. Чеповецкий В.В. Исследование некоторых параметров технического состояния цилиндропоршневой группы двигателя ЗИЛ – 130, с целью использования остаточной долговечности деталей при капитальном ремонте: дис. ...канд. техн.наук. – М., 1974. – 177 с.

53. Черепанов С.С., Халфин М.А. Проблемы повышения технического уровня и надежности сельскохозяйственной техники // Техника в сельском хозяйстве. – 1995. - №6. – С. 3-6.

54. Черноиванов В.И., Лялякин В.Н. Организация и технология восстановления деталей машин. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: ГОСНИТИ, 2003. – 488 с.

55. Шайхутдинов Р.Р., Фасхутдинов Х.С., Фасхутдинов М.Х. Износ гильз цилиндров и необходимость их ремонта // Проблемы механизации сельского хозяйства : сб. науч. трудов КГСХА. – Казань. 2002. – С. 345-346.

56. Шерман А.Д., Якушин Н.Н. Чугуны для гильз цилиндров автомобильных двигателей. – М.: НИИНавтопром, 1978. – 71 с.

57. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. – СПб: СПбГИТМО, 2001. – 264 с.

58. Валиев А.Ш., Зиатдинов Н.И. Структурные изменения при термомпластической деформации автотракторных гильз. Студенческая научно-практическая конференция Казанского ГАУ, 2021.

59. Валиев А.Ш., Латыпов А.А. Методика микрометража изношенных гильз автотракторных двигателей. Студенческая научно-практическая конференция Казанского ГАУ, 2021.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1п – Таблица вероятностей Р для критерий К. Пирсона

$x^2 \backslash r$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,607	0,801	0,910	0,963	0,989	0,995	0,998	0,999	0,999
2	0,369	0,572	0,736	0,849	0,920	0,960	0,981	0,992	0,996
3	0,223	0,392	0,558	0,700	0,810	0,885	0,934	0,964	0,981
4	0,135	0,262	0,406	0,549	0,677	0,780	0,857	0,911	0,947
5	0,082	0,172	0,287	0,416	0,544	0,660	0,758	0,834	0,891
6	0,050	0,112	0,199	0,306	0,423	0,540	0,647	0,740	0,815
7	0,030	0,072	0,136	0,221	0,321	0,429	0,537	0,637	0,725
8	0,018	0,046	0,092	0,156	0,238	0,332	0,434	0,534	0,628
9	0,011	0,029	0,062	0,109	0,174	0,252	0,342	0,437	0,532
10	0,007	0,019	0,040	0,075	0,125	0,189	0,255	0,351	0,441
11	0,004	0,012	0,027	0,051	0,088	0,139	0,202	0,276	0,358
12	0,003	0,007	0,017	0,035	0,062	0,101	0,151	0,213	0,285
13		0,005	0,011	0,023	0,043	0,072	0,112	0,163	0,224
14			0,007	0,016	0,030	0,051	0,082	0,122	0,173
15				0,010	0,020	0,036	0,059	0,091	0,132
16					0,014	0,025	0,042	0,067	0,100

Таблица 2п – Параметры и коэффициенты закона распределения Вейбула

V	b	C_{ϵ}	V	b	C_{ϵ}	V	b	C_{ϵ}
1,26	0,80	1,43	0,50	2,08	0,45	0,34	3,18	0,31
1,20	0,84	1,31	0,50	2,12	0,44	0,34	3,22	0,31
1,14	0,88	1,21	0,49	2,16	0,43	0,34	3,26	0,30
1,09	0,92	1,13	0,48	2,20	0,42	0,33	3,30	0,30
1,04	0,96	1,06	0,47	2,24	0,42	0,33	3,34	0,30
1,00	1,00	1,00	0,46	2,28	0,41	0,33	3,38	0,29
0,93	1,08	0,90	0,46	2,32	0,41	0,32	3,42	0,29
0,86	1,16	0,82	0,45	2,36	0,40	0,32	3,46	0,29
0,81	1,24	0,76	0,44	2,40	0,39	0,32	3,50	0,28
0,76	1,32	0,70	0,44	2,44	0,39	0,31	3,54	0,28
0,72	1,40	0,66	0,43	2,48	0,38	0,31	3,58	0,28
0,71	1,44	0,64	0,42	2,52	0,38	0,31	3,62	0,28
0,69	1,48	0,62	0,42	2,56	0,37	0,30	3,66	0,27
0,67	1,52	0,60	0,41	2,60	0,37	0,30	3,70	0,27
0,65	1,56	0,58	0,41	2,64	0,36	0,30	3,74	0,27

0,64	1,60	0,57	0,40	2,70	0,36	0,30	3,78	0,27
0,63	1,64	0,56	0,39	2,74	0,35	0,29	3,82	0,26
0,61	1,68	0,55	0,39	2,78	0,35	0,29	3,86	0,26
0,60	1,72	0,53	0,38	2,82	0,34	0,29	3,90	0,26
0,59	1,76	0,52	0,38	2,86	0,34	0,28	3,94	0,26
0,57	1,80	0,51	0,37	2,90	0,33	0,28	3,98	0,26
0,56	1,84	0,50	0,37	2,94	0,33	0,28	4,02	0,25
0,55	1,88	0,49	0,37	2,98	0,33	0,28	4,06	0,25
0,54	1,92	0,48	0,36	3,02	0,32	0,27	4,10	0,25
0,53	1,96	0,47	0,36	3,06	0,32	0,27	4,14	0,25
0,52	2,00	0,46	0,35	3,10	0,32	0,27	4,18	0,25
0,51	2,04	0,45	0,35	3,14	0,31			

Конечная оценка целесообразности использования разработанного технологического процесса восстановления детали, проводится по технико-экономическому критерию, которым выражает неравенством:

$$C_B < K_D \cdot C_H$$

г д е C_B - стоимость восстановления детали, руб./ед.;

K_D - коэффициент долговечности, ($K_D = 1,72$);

C_H - стоимость новой детали, руб./ед.

П о л н а я стоимость восстановления детали рассчитывается по формуле:

$$C_{\Pi} = C_{\text{ПРН}} + C_{\text{РМ}} + C_{\text{ОП}} + C_{\text{ОХ}} + C_{\text{ВП}},$$

г д е $C_{\text{ПРН}}$ - заработная плата производственных рабочих с начислениями, руб./ед.;

$C_{\text{РМ}}$ - стоимость ремонтных материалов, , руб./ед.;

$C_{\text{ОП}}$ - общепроизводственные накладные расходы, руб./ед.;

$C_{\text{ОХ}}$ - общехозяйственные накладные расходы, руб./ед.;

C_B - внепроизводственные накладные расходы, руб./ед.

З а р а б о т н а я плата складывается из основной, дополнительной и начислений по социальному страхованию:

$$C_{\text{ПРН}} = C_{\text{ПР}} + C_{\text{ДОП}} + C_{\text{СОЦ}},$$

г д е $C_{\text{ПР}}$ - основная заработная плата, руб./ед.;

$C_{\text{ДОП}}$ -дополнительная заработная плата, руб./ед.;

$C_{\text{СОЦ}}$ - начисления по социальному страхованию, руб./ед.

$$C_{\text{ПР}} = T_{\text{ШК}} \cdot C_{\text{Ч}} \cdot K_D,$$

где $T_{\text{шк}}$ - штучно-калькуляционное время, ч;

$C_{\text{ч}}$ - ставка рабочих, исчисляемая по среднему разряду, руб./ч;

$K_{\text{д}}$ - коэффициент, учитывающий доплаты к основной заработной плате, (равный 1,025...1,030).

$$C_{\text{пр}} = 1,05 \cdot 150 \cdot 1,03 = 162,225 \text{ руб./ед.};$$

$$C_{\text{прн}} = 162,225 + 19,47 + 61,47 = 243,46 \text{ руб./ед.};$$

Д о п о л н и т е л ь н а я заработная плата производственных рабочих, руб./ед.:

$$C_{\text{доп}} = (5 \dots 12) \cdot C_{\text{пр}} / 100;$$

$$C_{\text{доп}} = 12 \cdot (162,225) / 100 = 19,47 \text{ руб./ед.}$$

Н а ч и с л е н и я по социальному страхованию, руб.:

$$C_{\text{соц}} = R_{\text{соц}} \cdot ((C_{\text{пр}} + C_{\text{доп}})) / 100;$$

$$C_{\text{соц}} = 34 \cdot ((162,225 + 19,47)) / 100 = 61,77 \text{ руб./ед.};$$

С т о и м о с т ь ремонтных материалов укрупнено можно определить исходя из доли заработной платы и доли стоимости материалов:

$$C_{\text{рм}} = K_{\text{срм}} / K_{\text{спрн}} \cdot C_{\text{прн}};$$

$$K_{\text{срм}} = 0,25 \dots 0,35;$$

$$K_{\text{спрн}} = 0,65 \dots 0,75;$$

$$C_{\text{рм}} = (0,25 / 0,75) \cdot 243,46 = 80,34 \text{ руб./ед.};$$

Зная процент общепроизводственных, общехозяйственных и внепроизводственных накладных расходов устанавливают их стоимость.

$$C_{\text{оп}} = C_{\text{пр}} \cdot R_{\text{оп}} / 100;$$

$$C_{\text{ох}} = C_{\text{пр}} \cdot R_{\text{ох}} / 100;$$

$$C_{\text{вп}} = C_{\text{пр}} \cdot R_{\text{вп}} / 100;$$

$$C_{\text{оп}} = 162,225 \cdot 66,7 / 100 = 108,2 \text{ руб./ед.};$$

$$C_{\text{ох}} = 162,225 \cdot 12,5 / 100 = 20,28 \text{ руб./ед.};$$

$$C_{ВП}=162,225 \cdot 0,80/100=1,3 \text{ руб./ед.}$$

$$C_{П}=243,46+80,34+108,2+20,28+1,3=453,58 \text{ руб./ед.}$$

$$C_{В} < K_{д} \cdot C_{Н};$$

$$453,58 < 1,72 \cdot 1500.$$

П о с л е расчета стоимости восстановления детали ($C_{В}=453,58$) и учета технико-экономического критерия, можем сделать заключение о целесообразности применения разработанного технологического процесса.