

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

Южно-Уральский государственный университет
(Национальный исследовательский университет)

Институт «Политехнический»

Факультет «Автотранспортный»

Кафедра «Двигатели внутреннего сгорания и электронные системы автомобилей»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____ (И.О. Ф.)

_____ 2019 г.

Рецензент, (должность)

_____ (И.О. Ф.)

_____ 2019 г.

Повышение износостойчивости гильзы цилиндра дизеля использованием
материалов с различными механическими свойствами.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–130403.2019.070.ПЗ ВКР

Руководитель проекта, (должность)

В.Е. Лазарев _____ (И.О. Ф.)

_____ 2019 г.

Автор работы

студент группы П-209

Н.С. Филатов _____ (И.О. Ф.)

_____ 2019 г.

Нормоконтролер, (должность)

_____ (И.О. Ф.)

_____ 2019г.

АННОТАЦИЯ

Филатов Н.С. Повышение износостойчивости гильзы цилиндра дизеля использованием материалов с различными механическими свойствами – Челябинск: ЮУрГУ, 2019. -53 с., 10 илл., 18 табл., библиографический список – 31 наименование, 4 демонстрационных листа ф.А3.

В выпускной квалификационной работе проведен анализ литературы, касающейся видов и конструкций гильз цилиндров дизельного двигателя, материалов изготовления и их механических свойств.

Рассмотрены отдельные экспериментальные виды чугунов, значения механических свойств которых будут использованы при оценке ресурса сопряжения.

Произведена теоретическая оценка ресурса сопряжения при использовании различных материалов гильз цилиндров.

Также выполнен анализ полученных результатов, в части ресурса сопряжения и выявлены наиболее подходящие материалы для изготовления гильз цилиндров.

| | | | | | | | | |
|------------------|-------------|-----------------|----------------|------------|--|-----------------------|-------------|---------------|
| | | | | | ЮУрГУ - 130403.2019.070. ПЗ ВКР | | | |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Да-</i> | | | | |
| <i>Разраб.</i> | | Филатов Н. С. | | | Повышение износостойчивости гильзы цилиндра дизеля использованием материалов с различными механическими свойствами | <i>Лит.</i> | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| <i>Провер.</i> | | Лазарев В. Е. | | | | | 5 | |
| <i>Н. Контр.</i> | | Клементьев В.В | | | | ЮУрГУ кафедра ДВСиЭСА | | |
| <i>Утв.</i> | | Лазарев В. Е. | | | | | | |

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 7 |
| 1 НАЗНАЧЕНИЕ ГИЛЬЗ, ТРЕБОВАНИЯ К ГИЛЬЗАМ ЦИЛИНДРОВ | 9 |
| 1.1 ТИПЫ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРА | 10 |
| 1.1.1 СУХИЕ ГИЛЬЗЫ. ХОНИНГОВАННЫЕ | 10 |
| 1.1.2 ЗАГОТОВКА ГИЛЬЗЫ | 12 |
| 1.1.3 МОКРАЯ ГИЛЬЗА | 13 |
| 2 ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ГИЛЬЗ | 14 |
| 2.1 ХОНИНГОВАНИЕ ГИЛЬЗЫ | 16 |
| 3 МАТЕРИАЛЫ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ | 16 |
| 3.1 УНИВЕРСАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ГИЛЬЗОВАНИЯ БЛОКА ЦИЛИНДРОВ | 18 |
| 3.2 ЧУГУН КАК ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГИЛЬЗ БЛОКА ЦИЛИНДРОВ | 21 |
| 4 ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАРОК ЧУГУНА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ | 27 |
| 5 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕСУРСА СОПРЯЖЕНИЯ | 29 |
| 5.1 АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ | 29 |
| 5.2 ОЦЕНКА ЗАТРАТ МОЩНОСТИ НА СОВЕРШЕНИЕ РАБОТЫ ТРЕНИЯ В СОПРЯЖЕНИЯХ | 30 |
| 5.3 ПОСТРОЕНИЕ ОПОРНОЙ КРИВОЙ | 32 |
| 5.4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА КОНТАКТИРОВАНИЯ, КОНТУРНО- ГО ДАВЛЕНИЯ И ПЛОЩАДИ | 33 |
| 5.5 ОЦЕНКА РЕСУРСА СОПРЯЖЕНИЯ | 35 |
| 6 АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ | 42 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК | 43 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А | 47 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б | 49 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ В | 52 |

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 6 |

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение срока службы современного оборудования, машин и механизмов тесно связано с повышающимися требованиями к качеству и эксплуатационным характеристикам чугунов, которые требуют постоянного совершенствования их состава и технологии производства.

Борьба с изнашиванием, коррозией и окислением металлов и сплавов - один из важнейших резервов повышения долговечности изделий, уменьшения расходов материалов на запасные части, комплексного улучшения качества и надежности машин и механизмов. В этой связи важной является проблема повышения служебных свойств (износостойкости, жаростойкости и коррозионностойкости) чугунных отливок, которая актуальна для многих отраслей промышленности - машиностроительной, металлургической, горнодобывающей, химической и др.

Белый чугун все более широко применяют как материал для деталей машин и механизмов, подвергающихся интенсивному изнашиванию, окислению и коррозии, хотя традиционно относили его к хрупким и низкопрочным материалам, что существенно ограничивало области его использования. Достигнутые в последние годы успехи в области легирования и термической обработки белых чугунов значительно меняют наши представления об их свойствах и возможных сферах применения.

Структуры чугунов с эвтектическими композициями на базе специальных карбидов обеспечивают сочетание необычно высоких механических и эксплуатационных свойств. Такие белые чугуны могут обладать повышенной пластичностью, вязкостью и удароустойчивостью, но в то же время сохранять основные преимущества белых чугунов - высокую твердость и износостойкость, и проявление композиционного упрочнения при повышенных температурах.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| | | | | | | 7 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

Цель выпускной квалификационной работы:

Повышение ресурса сопряжения «гильза цилиндра – поршень», с применением материалов гильз цилиндров с различными механическими свойствами для повышения износоустойчивости гильз цилиндров двигателя ЯМЗ-236.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- 1) Провести литературный обзор и анализ видов, конструкций и материалов гильз цилиндров двигателей, различных фирм изготовителей.
- 2) Выбор и обоснование отдельных экспериментальных видов чугунов, значения механических свойств которых будут использоваться при оценке ресурса сопряжения.
- 3) Выполнить теоретическую оценку ресурса сопряжения, при использовании различных материалов гильзы цилиндра
- 4) Провести анализ полученных результатов расчета, в части ресурса сопряжения и выявить наиболее подходящий материал для изготовления гильзы цилиндра.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| | | | | | | 8 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

1 НАЗНАЧЕНИЕ ГИЛЬЗ, ТРЕБОВАНИЯ К ГИЛЬЗАМ ЦИЛИНДРОВ.

Стенки цилиндра двигателя образуют совместно с поршнем, кольцами и поверхностью камеры сгорания пространство переменного объема, в котором совершаются все рабочие процессы двигателя внутреннего сгорания. Стенка цилиндра должна быть тщательно обработана и образует с поршневыми кольцами пару скольжения. Цилиндры и гильзы цилиндров нагружаются силами давления газов, боковой нагрузкой от поршня и температурной нагрузкой. Переменная по величине и направлению боковая нагрузка вызывает изгиб и вибрацию цилиндра и ослабляет его крепление к картеру. Стенки цилиндра под действием возникающих при движении поршня сил трения подвергаются, кроме того, износу. Гильзы цилиндров должны быть прочными, жесткими, износостойкими, обеспечивать, возможно, меньшие потери на трение поршня о поверхность цилиндра. Внешняя и внутренняя поверхность гильз должна обладать антикоррозионной устойчивостью. Конструкция гильз должна также обеспечивать надежность уплотнений в местах стыков гильз с головкой и блоком цилиндров. Гильзы цилиндров могут, являясь как самостоятельной конструктивной единицей двигателя («мокрые» и гильзы двигателей воздушного охлаждения), так и являться элементом ремонтной технологии, предусмотренной заводом изготовителем (например: «сухие» гильзы для двигателей, где цилиндры выполнены заодно с блок-картером). В автомобильных и тракторных двигателях наибольшее распространение получили чугунные гильзы.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| | | | | | | 9 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

1.1 ТИПЫ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРА

1.1.1 СУХИЕ ГИЛЬЗЫ. ХОНИНГОВАННЫЕ.



Рисунок 1 – Хонингованная гильза.

Рабочая поверхность хонингованная. Гильза не требует дополнительной обработки и готова к эксплуатации непосредственно после установки в блок. Извлекается и устанавливается в блок с незначительным усилием. Посадка гильзы переходная (с минимальным зазором). При наличии специального инструмента возможна замена гильз без снятия блока цилиндров с автомобиля.

Сухие гильзы. Гильзы, не имеющие соприкосновения с охлаждающей жидкостью, называются сухими гильзами. Конструкцией некоторых двигателей предусмотрена заливка при изготовлении в блок картер гильз изготовленных из износостойкого материала, создавая тем самым оптимальные условия для работы цилиндропоршневой группы. Например, некоторые модели двигателей HONDA, Land Rover, Volkswagen, AUDI, VOLVO и многих других производителей имеют алюминиевый блок цилиндров (для уменьшения веса силового агрегата) и залитые в него сухие гильзы (для увеличения ресурса и повышения ремонтпригодности). Но самое широкое распростра-

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР | Лист |
| | | | | | | 10 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

нение сухие гильзы получили в сфере капитального ремонта двигателя. Не загильзованный блок цилиндров современного двигателя имеет несколько, предусмотренных технологией, расточек с последующей установкой в него ремонтных поршней. Установка сухих гильз позволяет не менять блок двигателя даже после износа цилиндра расточенного в последний ремонтный размер. Производители гильз выпускают так называемые, заготовки гильз, то есть гильзы имеющие запас по длине и внешнему диаметру, которые после токарной обработки запрессовываются с натягом в блок цилиндров. Такие гильзы как правило не имеют обработки внутренней поверхности. Они растачиваются и хонингуются только после установки гильзы в блок цилиндров. Поверхность блока цилиндров под установку тоже подвергается тщательной обработке: расточке и в некоторых случаях хонингованию. Гильза с упором устанавливается в блок под давлением, с натягом (в среднем 0,03-0,04 мм), для гильз, не имеющих упора натяг больше. Наружная поверхность сухих ремонтных гильз, как правило, подвергается шлифовке, для увеличения плотности прилегания к блоку цилиндров. Гильзы могут фиксироваться при установке верхним буртом, нижним буртом или вообще могут устанавливаться без упора. Некоторые японские производители, например ISUZU, изготавливают двигатели с тонкостенными стальными гильзами, имеющими покрытие из пористого хрома железом. Такие гильзы не подвергаются механической обработке и устанавливаются в блок цилиндров без натяга, с небольшим усилием и удерживаются в блоке за счет прижатия широкого бурта гильзы головкой блока. Блок картер с сухими гильзами имеет повышенную жесткость по сравнению с блоком, с установленными мокрыми гильзами.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 11 |

1.1.2 ЗАГОТОВКА ГИЛЬЗЫ

Предназначена для восстановления блока цилиндров в тех случаях, когда отсутствует уже готовая или полуобработанная гильза. При наличии соответствующего оборудования это позволит производить гильзовку блоков на всех двигателях легковых и легких коммерческих автомобилях, а также на грузовых автомобилях с двигателями среднего объема. После обработки заготовка представляет собой сухую гильзу, предназначенную для окончательной обработки в блоке.



Рисунок 2 – Заготовка чугунной гильзы для ремонтных работ.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| | | | | | | 12 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

1.1.3 МОКРАЯ ГИЛЬЗА



Рисунок 3 – Мокрая гильза.

Готовая к установке и эксплуатации гильза. Устанавливается в блок цилиндров без большого усилия. Замена гильз не требует специального оборудования. В случае необходимости, возможно снятие/установка на двигателе, не снятом с автомобиля.

Мокрые гильзы. Конструкцией двигателя с водяным охлаждением предусмотрена полость в картере двигателя, так называемая рубашка охлаждения. Гильза, соприкасающаяся своей поверхностью с охлаждающей жидкостью находящейся в «рубашке охлаждения» называется мокрой. Мокрые гильзы цилиндров обеспечивают лучший отвод тепла, но картер двигателя с такими гильзами обладает меньшей жесткостью. Большое распространение эти гильзы получили на грузовых и тракторных двигателях в силу своей высокой ремонтпригодности. Как правило, выпускаемые производителями мокрые гильзы не требуют перед установкой, какой либо доработки.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР | Лист |
| | | | | | | 13 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

Для предотвращения прорыва газов в охлаждающую жидкость и просачивания этой жидкости в цилиндр и картер двигателя «мокрые» гильзы комплектуются уплотнительными прокладками. Внутренняя поверхность гильз тщательно обрабатывается (хонингуется) для того чтобы обеспечить наличие требуемой масляной пленки для смазки поршневых колец. Двигатели с мокрыми гильзами устанавливаются почти на все современные коммерческие автомобили.

Примечание: на случай износа и повреждения предусмотрена доработка посадочного места гильзы в блоке и установка ремонтной гильзы с изменёнными размерами бурта. Для отдельных двигателей выпускаются ремонтные гильзы с несколькими ремонтными размерами бурта. Их доработка производится на блоке цилиндров, снятом с автомобиля

2. ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ГИЛЬЗ

Все гильзы цилиндров для двигателей жидкостного охлаждения производятся методом центробежного литья. Благодаря этому обеспечивается наиболее качественная структура материала, удаляются тяжелые примеси. Механические свойства металла равномерно распределяются по всему объёму детали.

Для повышения механических свойств в процессе изготовления гильзы проходят специальную термическую обработку.

Для обеспечения высокой износостойкости и придания антикоррозионных свойств поверхность гильзы фосфатируется.

Для производства гильз используются различные виды специального серого чугуна с легирующими добавками: Mn (марганец), Ni (никель),

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| | | | | | | 14 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

Cu (медь), Si (кремний), Cr (хром), Mo (молибден) и др. Благодаря им обеспечиваются необходимые физические и механические свойства.

| Применяемые легирующие элементы | |
|---------------------------------|--|
| Cr | Увеличивает твердость, прочность и износостойкость. |
| Хром | |
| Mo | Повышает твердость, не ухудшая обрабатываемость. Улучшает износостойкость. |
| Молибден | |
| Ni | Улучшает обрабатываемость чугуна. Улучшает механические свойства и повышает износостойкость чугуна. |
| Никель | |
| Cu | Медь по свойствам аналогична никелю. Чугуны с преобладанием меди обладают высокой твердостью, необходимой вязкостью и хорошей обрабатываемостью. |
| Медь | |
| V | Придает чугунам мелкозернистую структуру, упрочняя его металлическую основу. Увеличивает общую прочность чугуна, не делая его хрупким. |
| Ванадий | |
| Ti | Улучшает структуру и механические свойства отливки, способствуя повышению прочности металлической основы чугуна. Являясь хорошим раскислителем, титан обеспечивает получение чугуна, свободного от газовых раковин и вредных примесей. |
| Титан | |
| P | Улучшает текучесть чугуна, обеспечивая равномерность структуры отливки. Уменьшает усадку отливки при остывании. |

Таблица 1 – Описание легирующих элементов.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 15 |

2.1 ХОНИНГОВАНИЕ ГИЛЬЗЫ.

Плосковершинное хонингование (ПВХ) представляет собой чередование поверхностей с низкой шероховатостью (плато) и глубоких впадин (рисок). Плато обеспечивает компрессию, а риски способствуют оптимальному удержанию масла. При ПВХ цилиндры мотора и поршневые кольца быстрее прирабатываются. Результат — меньший износ двигателя и стабильность его работы.



Рисунок 4 – Плосковершинное хонингование



Рисунок 5 – Традиционное хонингование

3. МАТЕРИАЛЫ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ

Материалом для гильз в большинстве случаев служит кислотоупорный высоколегированный чугун с аустенитной структурой (СЧ28-48 и СЧ35-36), иногда применяют сталь 38ХМЮА.

Износ гильз, зависящий от твердости поверхности зеркала цилиндра, повышается с уменьшением твердости. Так, например, гильзы твердостью ИВ 140—160 изнашиваются в 2 раза быстрее, чем гильзы с твердостью ИВ 220—250 (при твердости поршневых колец ИВ 230—260). Для повышения износостойкости зеркало цилиндров покрывают тонким слоем пористого хрома (толщиной 0,05—0,08 мм).

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР | Лист |
| | | | | | | 16 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

Надежное покрытие слоем пористого хрома достигается при диаметре цилиндра до 200 мм. Стальные гильзы устанавливаются только на двигателях большой мощности (Д-12). Зеркало цилиндра отличается повышенной износостойкостью, так как внутреннюю поверхность гильзы азотируют.

Твердый азотированный слой хорошо сопротивляется истиранию и обладает значительной коррозионной стойкостью при высокой температуре. При этом срок службы чугунных поршневых колец увеличивается, так как коэффициент трения колец по азотированной поверхности невелик.

Большое влияние на износ гильз и поршневых колец оказывает чистота обработки их поверхностей (0,35—0,45 мкм).

Нанесение слоя пористого хрома на верхнее поршневое кольцо и указанная выше чистота обработки внутренней поверхности гильзы способствуют повышению износостойкости гильз и колец. Долговечность гильз может быть увеличена следующим образом:

- 1) установкой в системе охлаждения термостата — в этом случае износ гильз сокращается в среднем в 2 раза;
- 2) применением вентиляции картера для удаления газов, проникающих в него из цилиндров;
- 3) использованием бумажных фильтров тонкой очистки;
- 4) применением двухступенчатой очистки воздуха;
- 5) установкой перед радиатором жалюзи, управляемых отдельным термостатом.

подавляющее большинство чугунных блоков современных двигателей имеет так называемую моноблочную конструкцию. В моноблоке гильзы цилиндров (таким термином в общем случае называют стенки цилиндров) составляют с телом блока единое целое. Для таких блоков, как правило, выпускаются поршнекомплекты ремонтного размера. В качестве редкого исключения можно упомянуть отдельные типы дизельных двигателей (к примеру, Isuzu), в которых применяется блок из чугуна с запрессованными в него тонкими стальными гильзами. Они не растачиваются, а заменяются при ремонте.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| | | | | | | 17 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

Тем не менее, в последнее время увеличивается доля двигателей с блоками, изготовленными из алюминиевых сплавов. Здесь, как говорится, возможны варианты.

Некоторые алюминиевые блоки изготавливаются составными. В них тонкостенные гильзы с толщиной стенки 2—3 мм выполняются из другого материала (чаще — чугуна) и устанавливаются в блок при его отливке. Такая конструкция получила название «блок с сухими чугунными гильзами» и применяется в и цилиндрических двигателях Volvo, цилиндрических двигателях Land Rover, японских моторах Honda, Nissan, Suzuki, Subaru и ряде других. Технологии ремонта блоков с «сухими» гильзами, как правило, предусматривают возможность растачивания и хонингования цилиндров под увеличенный размер поршней, но из этого правила нередко бывают исключения.

3.1 УНИВЕРСАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ГИЛЬЗОВАНИЯ БЛОКА ЦИЛИНДРОВ

Для ряда конструкций блоков заводы-изготовители допускают ремонт методом гильзования. В таком случае предусматривается поставка в запасные части к двигателю ремонтных гильз. Например, они поставляются для некоторых цельноалюминиевых блоков, изготовленных с применением технологии Silumal. Гильзы для таких блоков изготавливаются из алюминиевого сплава, структура их материала соответствует материалу блока. Безусловно, применение «фирменных» гильз дает наилучшие результаты с точки зрения восстановления работоспособности двигателя, но в наших условиях ограничивается их высокой стоимостью {более 100—120 Евро за гильзу}, а потому экономически оправдано лишь тогда, когда гильзуется один или несколько цилиндров.

Напротив, на некоторые типы блоков ремонтные гильзы не выпускаются. Такая ситуация характерна для алюминиевых моноблоков с покрытием

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| | | | | | | 18 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

Nicasil, а также и для многих моделей чугунных блоков. Означает ли это, что поврежденный блок ремонту не подлежит и его остается лишь выбросить? Отнюдь, отечественная практика показывает, что даже в тех случаях, когда ремонт гильзованием официально не одобрен заводом-изготовителем двигателя, его можно успешно применять. Правда, непременным условием является точный расчет и полное владение технологией установки гильз.

Опыт использования технологии ремонта отечественных моторов установкой ремонтных гильз, изготовленных из чугуна, насчитывает не один десяток лет. Ее особенности хорошо известны, и на них нет смысла останавливаться. В то же время, ввиду большого конструктивного разнообразия двигателей зарубежного производства, единых рекомендаций, касающихся процедуры их гильзования, не существует. Для успешного выполнения работы в каждом конкретном случае нужно учитывать два основных момента.

Во-первых, для правильного определения геометрических параметров ремонтной гильзы необходимо тщательно изучить конструкцию блока. После растачивания цилиндров под установку ремонтных гильз толщина их стенок должна быть достаточной для сохранения механической прочности блока. Во-вторых, материал, из которого изготавливается гильза, должен быть работоспособным в паре с материалом (или покрытием) поршней и поршневых колец. Работоспособность материала гильз можно считать достаточной, если ресурс отремонтированного блока достигает, как минимум, 150 000 км пробега автомобиля.

Проверено, что, используя гильзы, изготовленные из серого чугуна, обеспечить такой ресурс более чем реально. Их можно применять не только для ремонта чугунных моноблоков или алюминиевых блоков с «сухими» гильзами, но и для восстановления всех типов цельноалюминиевых блоков. В последнем случае установка чугунных гильз означает серьезное изменение конструкции, которое нельзя не принимать во внимание. Прежде всего учи-

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| | | | | | | 19 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

тывается разное тепловое расширение алюминиевого блока двигателя и ремонтной гильзы.

Чтобы в процессе работы не нарушался тепловой контакт между гильзой и блоком, гильза должна устанавливаться с натягом не менее 0,05—0,07 мм. В противном случае возможна потеря натяга гильзы при работе двигателя, перегрев и разрушение поршня, тепло от которого в основном отводится в стенки цилиндра через кольца. Помимо этого, необходимо внести изменения в тепловой зазор между поршнем и гильзой. В алюминиевом моноблоке он обычно составляет 0,01—0,02 мм. При использовании чугунной гильзы его следует увеличить в 2, а то и в 3 раза.

Установлено, что долговечность вновь образующихся пар трения «чугун-сталь» и «чугун-хром» в местах контакта гильзы с поршнем и кольцами не намного ниже в сравнении с вариантом, когда цилиндры обработаны по заводским технологиям.

Однако не все так безоблачно. При выборочном пользовании отдельных цилиндров алюминиевых блоков чугунными гильзами часто наблюдается деформация цилиндров, соседствующих с ремонтируемыми. Искажения формы цилиндров в виде эллипсности возникают из-за двух факторов: вынужденно большой величины натяга ремонтной гильзы и недостаточно большой прочности алюминиевого сплава. Если эллипсность не превышает величины в 0,02—0,03 мм, это не так страшно. Такие отклонения могут быть компенсированы податливостью тонких поршневых колец, которые применяются в моторах зарубежного производства. И все же более правильным в этой ситуации будет либо гильзовать весь блок (одну сторону в случае V-образного двигателя), либо провести последующую обработку всех цилиндров под установку поршней ремонтного размера, если таковые предусмотрены.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 20 |

Именно по этой причине использование упоминавшихся «фирменных» алюминиевых гильз при ремонте отдельных цилиндров цельноалюминиевых блоков предпочтительнее. Они устанавливаются с меньшим натягом (около 0,02 мм) и потому не вызывают деформацию соседних цилиндров.

Эффект искажения формы соседних с ремонтируемыми цилиндрами характерен и для чугунных блоков. В зависимости от жесткости стенок он может проявляться в большей или меньшей степени. Поэтому, установив ремонтную гильзу, обязательно нужно проверить, как это отразилось на геометрии расположенных рядом цилиндров и после этого принять оптимальное решение.

Чугунные гильзы с перлитной структурой пригодны для двигателей, работающих длительное время на устойчивом тепловом режиме (автомобили междугородного сообщения, стационарные и судовые двигатели), при невысокой запыленности воздуха и эффективных воздушных и масляных фильтрах. При высокой запыленности воздуха (на пахоте, в карьерах, в некоторых южных районах страны), когда велик абразивный износ, полезным оказывается применение закаленных чугунных гильз твердостью НКС 40H - 50, а также гильз с хромированной или азотированной рабочей поверхностью. Хромирование и азотирование уменьшают износ гильз от коррозии.

3.2 ЧУГУН КАК ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГИЛЬЗ БЛОКА ЦИЛИНДРОВ

Сегодня принято использовать для производства гильз цилиндров заготовки из чугуна. Этот материал для производства гильз блока цилиндров отвечает всем современным требованиям к деталям для автомобильного двигателя. Серый чугун хорошо себя зарекомендовал в показателях прочности, надежности и износостойкости. Существует 4 основные сплавы

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 21 |

гильзы цилиндра из чугуна. Детально смотрите таблицу, приведенную в конце статьи.

Материал для изготовления гильз блока цилиндров из нелегированного чугуна плохо подходит для достаточно долгой работы двигателя, особенно если это проходит в трудных условиях эксплуатации. В такой ситуации происходит сильное трение и воздействие высокой температуры на внешнюю стенку детали гильзы цилиндра и седло клапана. Чтобы повысить износостойкость к гильзе из чугуна присоединяют нирезистовые термовставки. Их производят из чугуна, сильнолегированного большим объемом никеля (Ni). Это приводит к возрастанию показателей износостойкости деталей гильзы цилиндров, но существует ряд обстоятельств, из-за которых ограничивают использование такого способа, а именно: 1) термовставки можно использовать только вверху гильзы цилиндров из чугуна; 2) он нетехнологичный при металлообработке; 3) применение чугуна для детали гильзы цилиндра с большим содержанием Ni во многих случаях неэкономично. Поэтому наша компания отказалась от применения термовставок. Теперь мы изготавливаем гильзы цилиндров из фосфористого высоколегированного чугуна по низким ценам.

Гильзы из фосфористого чугуна различаются большим (0,4–1,5%) содержанием фосфора. Наши лабораторные исследования и большой опыт показывают, что высокая износостойкость характерна для гильз, сделанных из фосфористого чугуна. Наши лабораторные испытания показали как влияет различные добавки к сплаву чугуна на его износостойкость.

Полученные результаты:

— при легировании материала для изготовления гильз блока цилиндров из чугуна его металлическая матрица становится прочнее, а деформация детали гильзы цилиндра в процессе трения становится меньше;

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| | | | | | | 22 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

— эластичность и прочность деталей также зависит от свойств его металлического основания;

— поэтому добавление графита как бы служит характерным индикатором легированного чугуна, с его помощью мы делаем выводы о годности к эксплуатации;

— увеличивает надёжность работы детали гильзы цилиндра легирование материала для изготовления гильз блока цилиндров из чугуна такими элементами как: Cr, Cu, P, Ni, C, Si, Mn, S, Ti, V в приемлемом соответствии с другими элементами.

Все эти действия создают дополнительные защитные слои на поверхности детали гильзы блока цилиндра в результате трения. Комбинируя все эти методы мы достигли высокого качества нашей продукции, которая соответствует всем современным требованиям и стандартам. Также хотим отметить, что проведенные нами опыты показывают, что прочность, эластичность, и свойства деформации материала для изготовления гильз блока цилиндров из серого чугуна, значительно не различаются, а то и наоборот, превосходят оригинальную продукцию фирм производителей.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| | | | | | | 23 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

| Легирование чугуна | C(%) | Si(%) | Mn(%) | P(%) | S(%) | Cr(%) | Ni(%) | Cu(%) | Ti(%) | V(%) |
|---------------------------------------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| Нелегированные и низколегированный | 3,28 | 2,17 | 0,76 | 0,08 | 0,12 | 0,30 | 0,27 | 0,41 | 0,35 | 0,04 |
| Среднелегированные | 3,3 | 2,24 | 0,72 | 0,16 | 0,12 | 0,38 | 0,33 | 0,59 | 0,19 | 0,15 |
| Низколегированные фосфористые | 3,3 | 2,04 | 0,77 | 0,49 | 0,10 | 0,36 | 0,35 | 0,34 | - | - |
| Среднелегированные фосфористые | 3,55 | 1,94 | 0,59 | 1,39 | 0,05 | 0,40 | 0,46 | 0,51 | 0,08 | - |

Таблица 2 – Химический состав материала для изготовления гильзы блока цилиндров

Для гарантии соответствия серийных гильз эталонным образцам (а это очень высокие стандарты), в компании Federal-Mogul Powertrain используется прецизионное оборудование. Именно оно позволяет обеспечивать необходимые допуски – например, при хонинговании. А выходной контроль – это само собой. Он не менее тщательный, поэтому форма и размеры деталей неизменно оказываются в пределах жестких допусков.

Преимущества ультрапрочных гильз цилиндров первыми оценили производители двигателей для внедорожной техники. Это строительные, сельскохозяйственные и промышленные машины. Компания Federal-Mogul Powertrain также ожидает интереса со стороны производителей мощных двигателей для судов, генераторных установок и магистральных грузовых автомобилей.

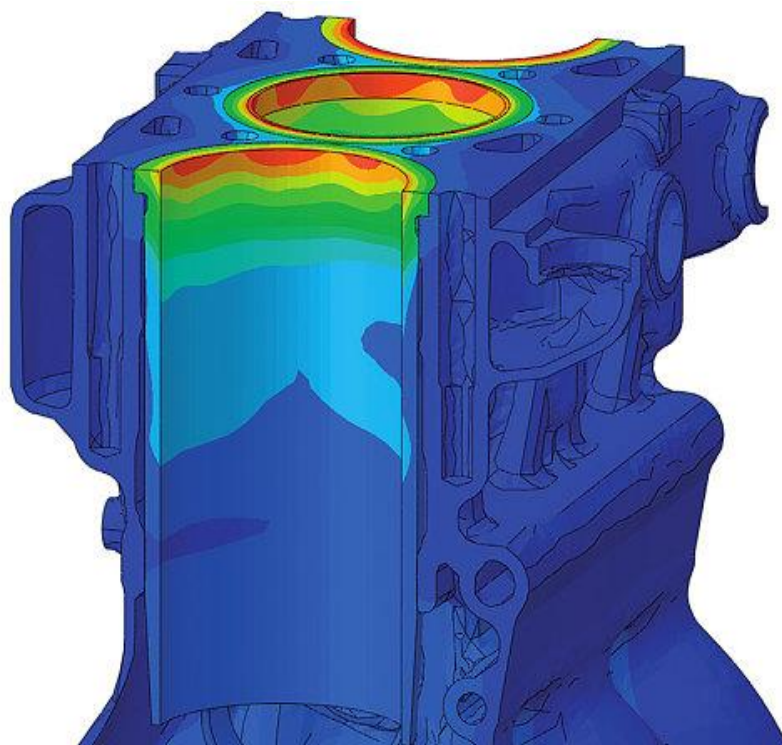


Рисунок 6 - Распределение температуры по смазываемой части гильзы цилиндра

Химический состав чугунов, используемых для изготовления гильз цилиндров автомобильных двигателей, приведен в ПРИЛОЖЕНИИ А.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР | Лист |
| | | | | | | 25 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

Влияние химического состава и микроструктуры на механические свойства чугуна обстоятельно исследовано и на основе этого сложились определённые взгляды: при легировании и модифицировании чугунов их металлическая матрица упрочняется и меньше пластически деформируется при трении; антифрикционные и прочностные свойства чугуна зависят от строения металлической основы и графита; графит является своеобразным индикатором микростроения чугуна и позволяет судить о его пригодности для определённых условий трения. Однако, что касается влияния этих параметров на изнашивание чугуна, то здесь единой точки зрения нет.

Для качества легированных чугунов, кроме методов плавки, также важны точное (при помощи средств автоматизации) выдерживание режимов и строгий контроль химического состава шихты и жидкого металла. Именно их сочетание, а также модифицирование дают возможность получать различные марки чугунов с заданными свойствами из одного базового.

Следует заметить, что по химическому составу материал гильз цилиндров двигателей СНГ и чугуны, используемые специализированными зарубежными фирмами, различаются незначительно.

Таким образом, опыт применения серых чугунов для гильз цилиндров показывает, что наибольший эффект в повышении надёжности работы детали даёт комплексное легирование чугуна такими элементами как Cr, Ni, Mo, Cu в оптимальном соотношении с основными элементами.

Главное при этом – достижение такого уровня легирования, которое в процессе трения способно в диапазоне рабочих режимов двигателя обеспечить образование на поверхности защитных вторичных слоёв. Необходимое условие – способность этих слоёв противостоять развитию схватывания, локализовать разрушения в весьма малых объёмах вторичных структур и иметь положительную реакцию на ужесточение режимов трения в цилиндре двигателя без возникновения катастрофических форм изнашивания.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| | | | | | | 26 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

Однако широкое варьирование содержанием в химическом составе чугуна основных и легирующих элементов не обеспечивает явных преимуществ ни одной из вышеперечисленных групп материалов по технологическим, прочностным, эксплуатационным и экономическим показателям, что и определяет необходимость применения различных методов упрочнения рабочей поверхности гильз цилиндров.

4 ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАРОК ЧУГУНА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ.

Для теоретической оценки ресурса сопряжения были выбраны 4 марки чугуна из ГОСТ – 7769 – 82, твердость которых превышает НВ = 270 ед, используемых в изготовлении различных типов зубчатых колес, цилиндров двигателей, дросселях, производства деталей, работающих при высоких механических нагрузках, высоких температурах. Выбранные чугуны (ЧХ32, ЧН2Х, ЧНХМДШ, ЧНЗХМДШ) имеют высокие механические свойства, сопротивление износу и коррозии в слабощелочных и газовых средах, высокую коррозионную стойкость.

| Марка чугуна | Массовая доля, % | | | | | | | | | | | |
|--------------|------------------|---------|----------|---------|------|-----------|---------|---------|---------|-----------|---------|----------|
| | углерода | кремния | марганца | фосфора | серы | хрома | никеля | меди | ванадия | молибдена | титана | алюминия |
| | | | | | | | | | | | | |
| ЧХ32 | 1,6-3,2 | 1,5-2,5 | 1,0 | 0,10 | 0,08 | 30,0-34,0 | - | - | - | - | 0,1-0,3 | - |
| ЧНХМДШ | 3,0-3,6 | 2,0-2,8 | 0,6 | 0,08 | 0,03 | 0,2-0,4 | 0,6-1,0 | 0,5-0,8 | - | 0,2-0,6 | - | - |
| ЧН2Х | 3,0-3,6 | 1,2-2,0 | 0,6-1,0 | 0,25 | 0,12 | 0,4-0,6 | 1,5-2,0 | - | - | - | - | - |
| ЧНЗХМДШ | 3,0-3,6 | 2,0-2,8 | 0,8 | 0,08 | 0,03 | 0,2-0,5 | 2,5-4,5 | 0,7-1,5 | - | 0,4-1,0 | - | - |

Таблица 3. Химический состав чугунов

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 27 |

| Марка чугуна | Временное сопротивление, МПа, не менее | | Относительное удлинение δ , % | Твердость НВ |
|--------------|--|------------------------|--------------------------------------|--------------|
| | растяжению σ_b | изгибу $\sigma_{изг.}$ | | |
| ЧХ32 | 290 | 490 | - | 245-340 |
| ЧНХМДШ | 600 | - | - | 270-320 |
| ЧН2Х | 290 | 490 | - | 215-280 |
| ЧНЗХМДШ | 550 | - | - | 350-550 |

Таблица 4. Механические свойства чугунов

| Марка чугуна | Эксплуатационное свойство чугунов | Применение |
|---------------|--|---|
| ЧХ28, ЧХ32 | Высокая коррозионная стойкость в растворах кислот (азотной, серной, фосфорной, соляной, уксусной, молочной и т.д.), щелочей и солей (азотнокислом аммония, сульфате аммония, хлорной извести, хлорном железе, селитре), в газах, содержащих серу или SO_2 , H_2O . Жаростойкость до температур 1373-1423 К. Высокое сопротивление абразивному износу | <p>Детали, работающие при небольших механических нагрузках в среде SO_2 и SO_3 в щелочах высокой концентрации, азотной кислоте, растворах и расплавах солей при температуре до 1273 К. Детали центробежных насосов, печная арматура, реторты для цементации, сопла горелок, цилиндры, корпуса золотников, гребки печей обжига колчедана и т.д.</p> <p>Сопла для пескоструйных аппаратов и другие детали, подверженные абразивному истиранию. Детали пищевой аппаратуры, проводковая арматура мелкосортных станков</p> |
| ЧН2Х | Высокие механические свойства, сопротивление износу и коррозии в слабощелочных и газовых средах (продукты сгорания топлива, технический кислород), водных растворах и расплавах каустика | Различные типы зубчатых колес, цилиндры двигателей, абразивные диски, дроссели, холодильные цилиндры и валы бумагоделательных, картоноделательных и сушильных машин, матрицы штамповочных прессов |

| | | |
|---------|--|--|
| ЧНХМДШ | Высокие механические свойства, сопротивление износу и коррозии в слабощелочных и газовых средах (продукты сгорания топлива, технический кислород) и водных растворах | Блоки и головки цилиндров, выхлопные патрубки двигателей внутреннего сгорания, паровых машин и турбин. Поршни и гильзы цилиндров паровых машин, тепловозных и судостроительных дизелей, детали кислородных и газовых мотокомпрессоров, детали бумагоделательных машин. |
| ЧНЗХМДШ | Высокие механические свойства, сопротивление износу и коррозии в слабощелочных и газовых средах (продукты сгорания топлива, технический кислород), водных растворах и расплавах каустика | Различные типы зубчатых колес, цилиндры двигателей, абразивные диски, дроссели, холодильные цилиндры и валы бумагоделательных, картоноделательных и сушильных машин, матрицы штамповочных прессов. |

Таблица 5. Основные эксплуатационные свойства и область применения легированных чугунов.

5 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕСУРСА СОПРЯЖЕНИЯ

5.1 АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

В качестве исходных данных принимаем:

- пара трения: гильза цилиндра – поршень (Чугун спец. состава – Алюминий (АЛ25));
- различные механические и теплофизические свойства материалов;
- номинальная площадь контакта $A_a = 1000 \text{ мм}^2$;
- массив средних нормальных нагрузок $N = 1000 \dots 5000 \text{ Н}$ с шагом в 500 Н ;
- скорость скольжения $v = 9,8 \text{ м/с}$;
- общая глубина износа $H = 300 \text{ мкм}$;
- прочие данные.

| Параметр | Обозначение | Материал | | Размерность |
|--|---------------|------------------------|------------------------|-------------------|
| | | Алюминий | Чугун сп. состав | |
| Коэффициент теплопроводности | λ | 35 | 21 | Вт/(м*К) |
| Плотность | ρ | 2720 | 7500 | кг*м ³ |
| Удельная теплоемкость | c_p | 900 | 469 | Дж/(кг*К) |
| Модуль упругости | E | 0,69*10 ⁵ | 0,9*10 ⁵ | МПа |
| Коэффициент Пуассона | μ | 0,36 | 0,29 | |
| Твердость по Бринеллю | HB | 90 | 270 | |
| Отношение высоты волны шероховатости к ее шагу | a_w/L_w | 4*10 ⁻⁴ | 4*10 ⁻⁴ | |
| Предел прочности | σ_{BP} | 186 | 330 | МПа |
| Коэффициент аккумуляции энергии | ρ_R | 0,4 * 10 ⁻⁵ | 0,4 * 10 ⁻⁵ | |

Таблица 6. Различные свойства материалов и исходные данные для пары трения.

5.2 ОЦЕНКА ЗАТРАТ МОЩНОСТИ НА СОВЕРШЕНИЕ РАБОТЫ ТРЕНИЯ В СОПРЯЖЕНИЯХ

Параметры исследуемых сопряжений двигателя 4Ч 13/14:

Коэффициент трения (для всех режимов нагружения): 0,05

Номинальное давление в сопряжении: 0,4 МПа

Номинальная частота вращения коленчатого вала: 2100 мин⁻¹

Для оценки окружной скорости скольжения следует использовать зависимость:

$$V = 2\pi \cdot n \cdot R_{п.п.} = 9,8 \text{ м/с}$$

Средняя нормальная нагрузка в сопряжении может быть определена из соотношения давления в сопряжении и номинальной площади контакта.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 30 |

Сила N действующая перпендикулярно оси цилиндра, называется нормальной силой и воспринимается стенками цилиндра:

$$N = P_{\Sigma} \cdot \operatorname{tg}\beta, \text{ кН};$$

$$N = 11,949 \cdot (-0,089) = -1,0635 \text{ кН.}$$

$$N_{\min} = -2,697 \text{ кН, при } \alpha = 240^{\circ} \text{ ПКВ}$$

$$N_{\max} = 5,109 \text{ кН, при } \alpha = 380^{\circ} \text{ ПКВ}$$

Нормальная сила N считается положительной, если создаваемый ею момент относительно оси коленчатого вала направлен противоположно направлению вращения вала двигателя.

На основании динамического расчета (ПРИЛОЖЕНИЕ Б) имеем:

$$N = p_e \cdot F_{\Pi} = 1 \text{ кН}$$

Работа трения, отнесенная к времени контактного взаимодействия, т.е. к времени скольжения тел трения, формирует мощность трения:

$$N_T = f \cdot N \cdot V = 490 \text{ Вт}$$

| $V, \text{ м/с}$ | f | $N_T, \text{ Вт}$ | $N, \text{ Н}$ |
|------------------|------|-------------------|----------------|
| 9,8 | 0,05 | 490 | 1000 |
| 9,8 | 0,05 | 735 | 1500 |
| 9,8 | 0,05 | 980 | 2000 |
| 9,8 | 0,05 | 1225 | 2500 |
| 9,8 | 0,05 | 1470 | 3000 |
| 9,8 | 0,05 | 1715 | 3500 |
| 9,8 | 0,05 | 1960 | 4000 |
| 9,8 | 0,05 | 2205 | 4500 |
| 9,8 | 0,05 | 2450 | 5000 |

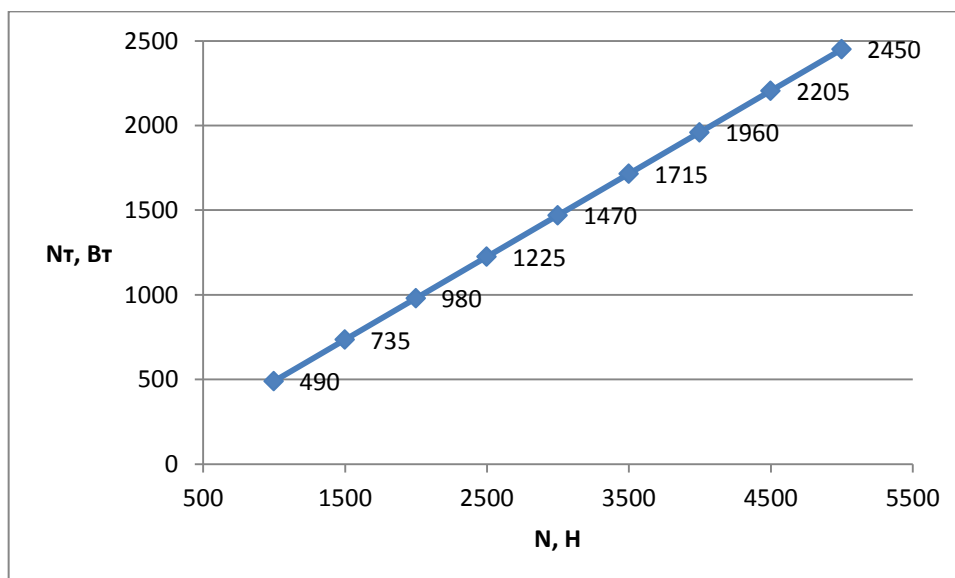


Рисунок 7. График зависимости мощности трения от средней нормальной нагрузки.

5.3 ПОСТРОЕНИЕ ОПОРНОЙ КРИВОЙ

Опорная кривая позволяет выявить распределение металла в поверхностном слое с учетом шероховатости и определить показатели опорной кривой v и b , используемые для оценки соотношения площадей.

Показатели опорной кривой определяются по двум точкам, выбранным на условно прямой части графика.

Координаты точек 1 и 2 сведены в таблицу 7.

| № точки | t_p | ε |
|---------|-------|---------------|
| 1 | 0,2 | 0,35 |
| 2 | 0,75 | 0,8 |

Таблица 7 – Координаты точек 1 и 2

Коэффициенты v и b определяются по формулам:

$$v = \frac{\lg(t_{p1}) - \lg(t_{p2})}{\lg(\varepsilon_1) - \lg(\varepsilon_2)},$$

где t_p , ε – координаты соответствующих точек (таблица 7).

$$v = \frac{\lg 0,2 - \lg 0,75}{\lg 0,35 - \lg 0,8} = 1,66.$$

$$\lg b = 0,5 \cdot \left[\left(\lg(t_{p_1}) + \lg(t_{p_2}) \right) - v(\lg(\varepsilon_1) + \lg(\varepsilon_2)) \right];$$

$$\lg b = 0,5 \cdot \left[(\lg 0,32 + \lg 0,75) - 1,66 \cdot (\lg 0,35 + \lg 0,8) \right] = 0,05;$$

$$b = 1,1.$$

5.4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА КОНТАКТИРОВАНИЯ, КОНТУРНОГО ДАВЛЕНИЯ И ПЛОЩАДИ

Комплекс шероховатости Δ для единичного профиля поверхности определяется по формуле:

$$\Delta = \frac{R_{max}}{R \cdot b^{\frac{1}{v}}}$$

где $R_{max} = 7,5$ мкм – высота профиля;

R - средний радиус микронеровностей, $R = 20$ мкм.

$$\Delta = \frac{7,5}{20 \cdot 1,1^{\frac{1}{1,66}}} = 0,36.$$

С целью оценки соотношения между номинальной и фактической площадью контактирования, следует определить контурное и фактическое давление, в зависимости от вида контактирования:

$$A \leq P_c < B,$$

где P_c - контурное давление контакта, МПа;

$$A = 5,4 \cdot \frac{(1-\mu^2)^4 \cdot HB^5}{\Delta^2 \cdot E^4} - \text{граница упругого контакта};$$

$$B = 14,5 \cdot \frac{(1-\mu^2)^4 \cdot HB^5}{\Delta^2 \cdot E^4} - \text{граница пластического контакта}.$$

$$P_c = 1,87 \cdot E^{0,5} \cdot \left(\frac{a_\omega}{L_\omega} \right)^{0,5} \cdot P_a^{0,5},$$

где $a_\omega / L_\omega = 4 \cdot 10^{-4}$ – отношение волны шероховатости к ее шагу.

Вид контактирования:

- $P_c < A$ – упругое контактирование;
- $B \geq P_c$ - пластическое контактирование;
- $A \leq P_c < B$ – упруго-пластическое контактирование.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 33 |

Расчеты будем проводить для наиболее деформируемого материала. В данном случае таким материалом является алюминий.

Относительное сближение поверхностей ε находится по формуле:

$$\varepsilon = \left[\frac{4,2 \cdot P_c \cdot (1 - \mu^2)}{\Delta^{0,5} \cdot E} \right]^{\frac{2}{3}}$$

Фактическое давление в упругой зоне контакта определяется по формуле:

$$P_r = 0,28 \cdot E^{\frac{6}{7}} \cdot \left(\frac{R_{max}}{R} \right)^{\frac{3}{7}} \cdot P_c^{\frac{1}{7}}$$

Фактическое давление в пластической зоне контакта определяется по формуле:

$$P_r = HB \cdot 10.$$

Фактическую площадь контакта найдем исходя из равенства нормальной нагрузки:

$$N = P_a \cdot A_a = P_r \cdot A_r \rightarrow A_r = \frac{P_a \cdot A_a}{P_r}$$

Результаты всех расчетов сводятся в таблицу 8.

| № п/п | P_a , МПа | N , Н | P_c , МПа | Вид контакта | P_r , МПа | A_r , мм ² | A_a/A_r |
|-------|-------------|---------|-------------|--------------|-------------|-------------------------|-----------|
| 1 | 1 | 1000 | 9,84 | Пластический | 90 | 11,11 | 90 |
| 2 | 1,5 | 1500 | 12,05 | | 90 | 16,67 | 60 |
| 3 | 2 | 2000 | 13,91 | | 90 | 22,22 | 45 |
| 4 | 2,5 | 2500 | 15,55 | | 90 | 27,78 | 36 |
| 5 | 3 | 3000 | 17,04 | | 90 | 33,33 | 30 |
| 6 | 3,5 | 3500 | 18,40 | | 90 | 38,89 | 25,71429 |
| 7 | 4 | 4000 | 19,67 | | 90 | 44,44 | 22,5 |
| 8 | 4,5 | 4500 | 20,87 | | 90 | 50,00 | 20 |
| 9 | 5 | 5000 | 21,99 | | 90 | 55,56 | 18 |

Таблица 8. Расчет поршня (Алюминий АЛ 25)

5.5 ОЦЕНКА РЕСУРСА СОПРЯЖЕНИЯ

Ресурс сопряжения регламентирован временем его фактической работы.

Изнашивание – процесс изменения геометрических характеристик трибосопряжения, физико-механических свойств его составляющей или эксплуатационных свойств в процессе работы.

Основной характеристикой изнашивания, являются интенсивность изнашивания.

Ресурс работы:

$$t = \frac{h}{I_h \cdot v},$$

где h – глубина изношенного слоя, м;

I_h – линейная интенсивность изнашивания.

$$I_h = \frac{f \cdot P_a}{\left[\frac{\sigma_{\text{вп}}^2 \cdot \sigma^2}{2 \cdot E} \right]} \cdot \rho_R^2,$$

где $\rho_R = 3 \cdot 10^{-6}$ – коэффициент аккумуляции энергии.

Суммарный износ сопряжения:

$$H = h_1 + h_2; \quad H = 300 \text{ мкм.}$$

Предполагаем соотношение глубин изношенных слоев равным соотношению линейных интегральных интенсивностей изнашивания. Следовательно:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{I_{h_1}}{I_{h_2}}.$$

В зоне контакта $\sigma = P_r$.

Результаты расчетов сводятся в таблицы 9 и 10.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР | Лист |
| | | | | | | 35 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

| № п/п | P_a , МПа | P_r , МПа | N, H | f | I_h , м/м | h , мкм | t , ч |
|----------|----------------|----------------|--------|------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 1 | 270 | 1000 | 0,05 | 4E-10 | 146 | 36500 |
| 2 | 1,5 | 270 | 1500 | 0,05 | 6E-10 | 146 | 24333,33 |
| 3 | 2 | 270 | 2000 | 0,05 | 8E-10 | 146 | 18250 |
| 4 | 2,5 | 270 | 2500 | 0,05 | 1E-09 | 146 | 14600 |
| 5 | 3 | 270 | 3000 | 0,05 | 1,2E-09 | 146 | 12166,67 |
| 6 | 3,5 | 270 | 3500 | 0,05 | 1,4E-09 | 146 | 10428,57 |
| 7 | 4 | 270 | 4000 | 0,05 | 1,6E-09 | 146 | 9125 |
| 8 | 4,5 | 270 | 4500 | 0,05 | 1,8E-09 | 146 | 8111,11 |
| 9 | 5 | 270 | 5000 | 0,05 | 2E-09 | 146 | 7300 |

Таблица 9. Расчет ресурса сопряжения для гильзы цилиндра.

(Чугун спец. состава)

| № п/п | P_a , МПа | P_r , МПа | N, H | f | I_h , м/м | h , мкм | t , ч |
|----------|----------------|----------------|--------|------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 1 | 90 | 2000 | 0,05 | 4,16667E-10 | 154 | 36500 |
| 2 | 1,5 | 90 | 2500 | 0,05 | 6,25E-10 | 154 | 24333,33 |
| 3 | 2 | 90 | 3000 | 0,05 | 8,33333E-10 | 154 | 18250 |
| 4 | 2,5 | 90 | 3500 | 0,05 | 1,04167E-09 | 154 | 14600 |
| 5 | 3 | 90 | 4000 | 0,05 | 1,25E-09 | 154 | 12166,67 |
| 6 | 3,5 | 90 | 4500 | 0,05 | 1,45833E-09 | 154 | 10428,57 |
| 7 | 4 | 90 | 4000 | 0,05 | 1,66667E-09 | 154 | 9125 |
| 8 | 4,5 | 90 | 4500 | 0,05 | 1,875E-09 | 154 | 8111,11 |
| 9 | 5 | 90 | 5000 | 0,05 | 2,08333E-09 | 154 | 7300 |

Таблица 10. Расчет ресурса сопряжения для поршня (АЛ 25)

| № п/п | P_a , МПа | P_r , МПа | N, H | f | I_h , м/м | h , мкм | t , ч |
|----------|----------------|----------------|--------|------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 1 | 275 | 2000 | 0,05 | 3,80238E-10 | 143 | 37608,06 |
| 2 | 1,5 | 275 | 2500 | 0,05 | 5,70356E-10 | 143 | 25072,04 |
| 3 | 2 | 275 | 3000 | 0,05 | 7,60475E-10 | 143 | 18804,03 |
| 4 | 2,5 | 275 | 3500 | 0,05 | 9,50594E-10 | 143 | 15043,22 |
| 5 | 3 | 275 | 4000 | 0,05 | 1,14071E-09 | 143 | 12536,02 |
| 6 | 3,5 | 275 | 4500 | 0,05 | 1,33083E-09 | 143 | 10745,16 |
| 7 | 4 | 275 | 4000 | 0,05 | 1,52095E-09 | 143 | 9402,01 |
| 8 | 4,5 | 275 | 4500 | 0,05 | 1,71107E-09 | 143 | 8357,35 |
| 9 | 5 | 275 | 5000 | 0,05 | 1,90119E-09 | 143 | 7521,61 |

Таблица 11. Расчет ресурса сопряжения для гильзы цилиндра (Чугун ЧН2Х)

| № п/п | P_a , МПа | P_r , МПа | N, H | f | I_h , м/м | h , мкм | t , ч |
|----------|----------------|----------------|--------|------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 1 | 90 | 2000 | 0,05 | 4,16667E-10 | 157 | 37608,06 |
| 2 | 1,5 | 90 | 2500 | 0,05 | 6,25E-10 | 157 | 25072,04 |
| 3 | 2 | 90 | 3000 | 0,05 | 8,33333E-10 | 157 | 18804,03 |
| 4 | 2,5 | 90 | 3500 | 0,05 | 1,04167E-09 | 157 | 15043,22 |
| 5 | 3 | 90 | 4000 | 0,05 | 1,25E-09 | 157 | 12536,02 |
| 6 | 3,5 | 90 | 4500 | 0,05 | 1,45833E-09 | 157 | 10745,16 |
| 7 | 4 | 90 | 4000 | 0,05 | 1,66667E-09 | 157 | 9402,01 |
| 8 | 4,5 | 90 | 4500 | 0,05 | 1,875E-09 | 157 | 8357,35 |
| 9 | 5 | 90 | 5000 | 0,05 | 2,08333E-09 | 157 | 7521,61 |

Таблица 12. Расчет ресурса сопряжения для поршня (АЛ 25)

| № п/п | P_a , МПа | P_r , МПа | N, H | f | I_h , м/м | h , мкм | t , ч |
|----------|----------------|----------------|--------|------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 1 | 295 | 2000 | 0,05 | 3,11688E-10 | 129 | 41387,50 |
| 2 | 1,5 | 295 | 2500 | 0,05 | 4,67532E-10 | 129 | 27591,67 |
| 3 | 2 | 295 | 3000 | 0,05 | 6,23377E-10 | 129 | 20693,75 |
| 4 | 2,5 | 295 | 3500 | 0,05 | 7,79221E-10 | 129 | 16555,00 |
| 5 | 3 | 295 | 4000 | 0,05 | 9,35065E-10 | 129 | 13795,83 |
| 6 | 3,5 | 295 | 4500 | 0,05 | 1,09091E-09 | 129 | 11825,00 |
| 7 | 4 | 295 | 4000 | 0,05 | 1,24675E-09 | 129 | 10346,88 |
| 8 | 4,5 | 295 | 4500 | 0,05 | 1,4026E-09 | 129 | 9197,22 |
| 9 | 5 | 295 | 5000 | 0,05 | 1,55844E-09 | 129 | 8277,50 |

Таблица 13. Расчет ресурса сопряжения для гильзы цилиндра (Чугун ЧХ32)

| № п/п | P_a , МПа | P_r , МПа | N, H | f | I_h , м/м | h , мкм | t , ч |
|----------|----------------|----------------|--------|------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 1 | 90 | 2000 | 0,05 | 4,16667E-10 | 171 | 41387,50 |
| 2 | 1,5 | 90 | 2500 | 0,05 | 6,25E-10 | 171 | 27591,67 |
| 3 | 2 | 90 | 3000 | 0,05 | 8,33333E-10 | 171 | 20693,75 |
| 4 | 2,5 | 90 | 3500 | 0,05 | 1,04167E-09 | 171 | 16555,00 |
| 5 | 3 | 90 | 4000 | 0,05 | 1,25E-09 | 171 | 13795,83 |
| 6 | 3,5 | 90 | 4500 | 0,05 | 1,45833E-09 | 171 | 11825,00 |
| 7 | 4 | 90 | 4000 | 0,05 | 1,66667E-09 | 171 | 10346,88 |
| 8 | 4,5 | 90 | 4500 | 0,05 | 1,875E-09 | 171 | 9197,22 |
| 9 | 5 | 90 | 5000 | 0,05 | 2,08333E-09 | 171 | 8277,50 |

Таблица 14. Расчет ресурса сопряжения для поршня (АЛ 25)

| № п/п | P_a , МПа | P_r , МПа | N, H | f | I_h , м/м | h , мкм | t , ч |
|----------|----------------|----------------|--------|------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 1 | 300 | 2000 | 0,05 | 2,84444E-10 | 122 | 42890,63 |
| 2 | 1,5 | 300 | 2500 | 0,05 | 4,26667E-10 | 122 | 28593,75 |
| 3 | 2 | 300 | 3000 | 0,05 | 5,68889E-10 | 122 | 21445,31 |
| 4 | 2,5 | 300 | 3500 | 0,05 | 7,11111E-10 | 122 | 17156,25 |
| 5 | 3 | 300 | 4000 | 0,05 | 8,53333E-10 | 122 | 14296,88 |
| 6 | 3,5 | 300 | 4500 | 0,05 | 9,95556E-10 | 122 | 12254,46 |
| 7 | 4 | 300 | 4000 | 0,05 | 1,13778E-09 | 122 | 10722,66 |
| 8 | 4,5 | 300 | 4500 | 0,05 | 1,28E-09 | 122 | 9531,25 |
| 9 | 5 | 300 | 5000 | 0,05 | 1,42222E-09 | 122 | 8578,13 |

Таблица 15. Расчет ресурса сопряжения для гильзы цилиндра (Чугун ЧНХМДШ)

| № п/п | P_a , МПа | P_r , МПа | N, H | f | I_h , м/м | h , мкм | t , ч |
|----------|----------------|----------------|--------|------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 1 | 90 | 2000 | 0,05 | 4,16667E-10 | 178 | 42890,63 |
| 2 | 1,5 | 90 | 2500 | 0,05 | 6,25E-10 | 178 | 28593,75 |
| 3 | 2 | 90 | 3000 | 0,05 | 8,33333E-10 | 178 | 21445,31 |
| 4 | 2,5 | 90 | 3500 | 0,05 | 1,04167E-09 | 178 | 17156,25 |
| 5 | 3 | 90 | 4000 | 0,05 | 1,25E-09 | 178 | 14296,88 |
| 6 | 3,5 | 90 | 4500 | 0,05 | 1,45833E-09 | 178 | 12254,46 |
| 7 | 4 | 90 | 4000 | 0,05 | 1,66667E-09 | 178 | 10722,66 |
| 8 | 4,5 | 90 | 4500 | 0,05 | 1,875E-09 | 178 | 9531,25 |
| 9 | 5 | 90 | 5000 | 0,05 | 2,08333E-09 | 178 | 8578,13 |

Таблица 16. Расчет ресурса сопряжения для поршня (АЛ 25)

| № п/п | P_a , МПа | P_r , МПа | N, H | f | I_h , м/м | h , мкм | t , ч |
|----------|----------------|----------------|--------|------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 1 | 450 | 2000 | 0,05 | 1,52E-10 | 80 | 52631,58 |
| 2 | 1,5 | 450 | 2500 | 0,05 | 2,28E-10 | 80 | 35087,72 |
| 3 | 2 | 450 | 3000 | 0,05 | 3,04E-10 | 80 | 26315,79 |
| 4 | 2,5 | 450 | 3500 | 0,05 | 3,8E-10 | 80 | 21052,63 |
| 5 | 3 | 450 | 4000 | 0,05 | 4,56E-10 | 80 | 17543,86 |
| 6 | 3,5 | 450 | 4500 | 0,05 | 5,32E-10 | 80 | 15037,59 |
| 7 | 4 | 450 | 4000 | 0,05 | 6,08E-10 | 80 | 13157,89 |
| 8 | 4,5 | 450 | 4500 | 0,05 | 6,84E-10 | 80 | 11695,91 |
| 9 | 5 | 450 | 5000 | 0,05 | 7,6E-10 | 80 | 10526,32 |

Таблица 17. Расчет ресурса сопряжения для гильзы цилиндра
(Чугун ЧНЗХМДШ)

| № п/п | P_a , МПа | P_r , МПа | N, H | f | I_h , м/м | h , мкм | t , ч |
|----------|----------------|----------------|--------|------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 1 | 90 | 2000 | 0,05 | 4,16667E-10 | 220 | 52631,58 |
| 2 | 1,5 | 90 | 2500 | 0,05 | 6,25E-10 | 220 | 35087,72 |
| 3 | 2 | 90 | 3000 | 0,05 | 8,33333E-10 | 220 | 26315,79 |
| 4 | 2,5 | 90 | 3500 | 0,05 | 1,04167E-09 | 220 | 21052,63 |
| 5 | 3 | 90 | 4000 | 0,05 | 1,25E-09 | 220 | 17543,86 |
| 6 | 3,5 | 90 | 4500 | 0,05 | 1,45833E-09 | 220 | 15037,59 |
| 7 | 4 | 90 | 4000 | 0,05 | 1,66667E-09 | 220 | 13157,89 |
| 8 | 4,5 | 90 | 4500 | 0,05 | 1,875E-09 | 220 | 11695,91 |
| 9 | 5 | 90 | 5000 | 0,05 | 2,08333E-09 | 220 | 10526,32 |

Таблица 18. Расчет ресурса сопряжения для поршня (АЛ 25)

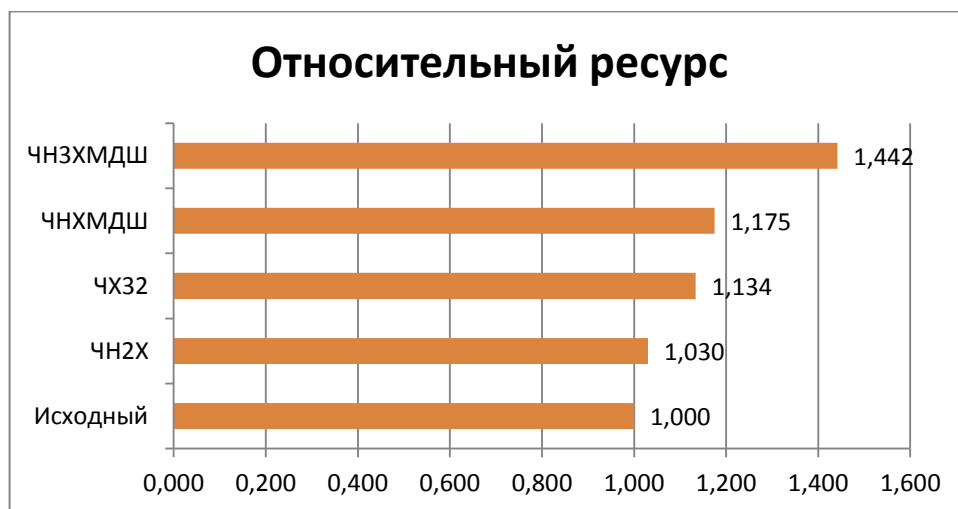


Рисунок 8. График ресурса сопряжения относительно исходного материала гильзы.

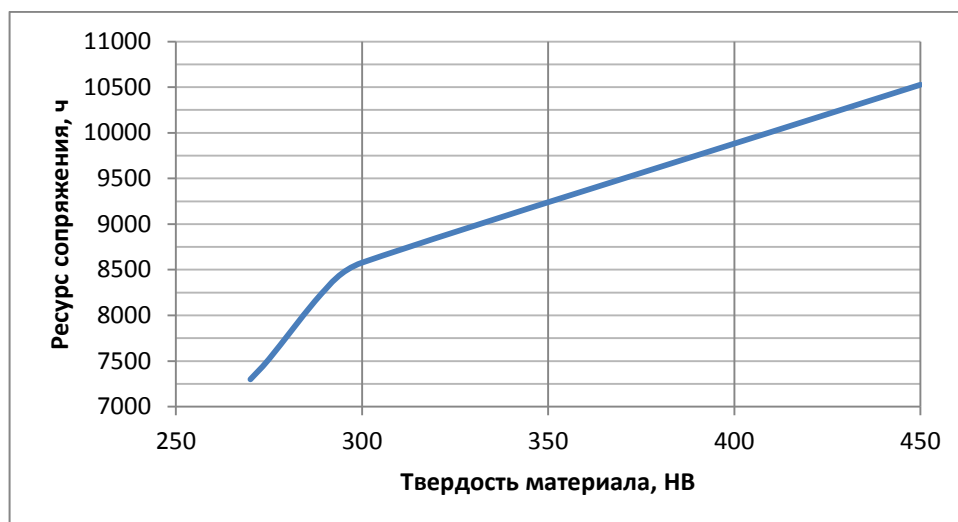


Рисунок 9. График зависимости ресурса сопряжения от твердости материала гильзы.

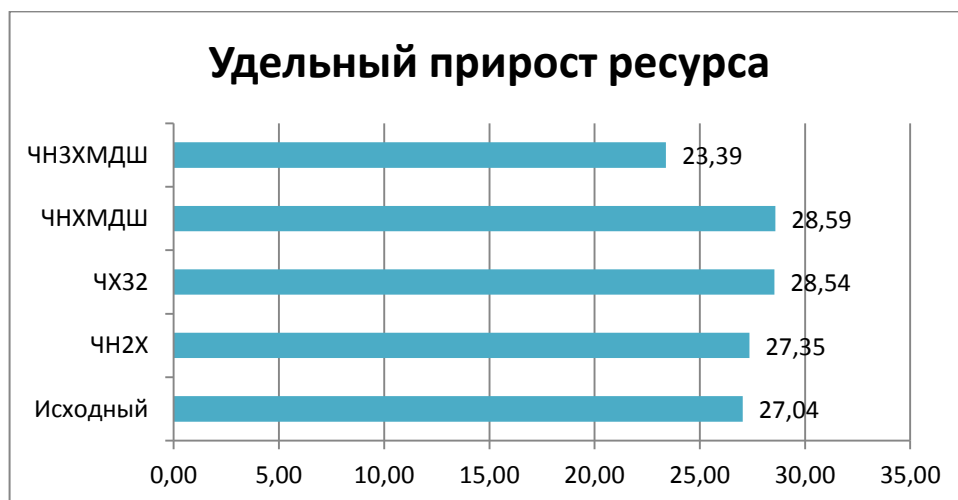


Рисунок 10. График удельного прироста ресурса на единицу твердости (НВ)

6 АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

По результатам расчетов были построены графики ресурса сопряжения относительно исходного материала гильзы (Рисунок 8) и зависимости ресурса сопряжения от твердости материала гильзы (Рисунок 9),

При увеличении твердости материала гильз цилиндров с $HV=270$ ед., как у исходного образца, до $HV=275$ ед. у чугуна ЧН2Х наблюдается повышение ресурса на 3%. Рассматривая материал гильз цилиндров ЧХ32 с твердостью $HV=295$ ед., прирост ресурса сопряжения составляет до 13,4%. Чугун ЧНХМДШ, используемый при расчетах гильз цилиндров как один из наиболее подходящих материалов, имеет твердость $HV=300$ ед. в свою очередь повышает ресурс на 17,5%. Последний из рассмотренных образцов, ЧНЗХМДШ с твердостью $HV=450$ ед. увеличивает ресурс сопряжения на 44,2%.

Казалось бы, что чугун ЧНЗХМДШ является наилучшим вариантом для использования в качестве материала гильз цилиндров дизеля, благодаря повышенной прочности и износостойчивости, однако удельный прирост ресурса относительно твердости сокращается по сравнению с материалами, имеющими твердость в районе $HV=300$, что показано на графике (Рисунок 10).

Повышение требований к оборудованию, усложнение технологии производства и технологического процесса обработки материала с высокой твердостью ($HV=450$ ед.) и снижение удельного ресурса, что требует от предприятия пересмотра технологии производства и изменение мощностей, что с точки зрения целесообразности является выгодным.

Оптимальным вариантом из рассмотренных материалов в работе считать чугун ЧНХМДШ, с твердостью $HV=300$ ед. и удельным приростом ресурса 28,59 ед. и приростом ресурса относительно исходного материала на 17,5%.

Механические свойства материала поршня при проведении исследования не изменялись, для получения более точных результатов зависимости ресурса сопряжения.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| | | | | | | 42 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ри Х. Комплексно-легированные чугуны специального назначения / Х. Ри, Э. Х. Ри. Владивосток. Дальнаука, 2000.-287 с.
2. Special-Purpose alloy castings to resist abrasion. Bradley and foster Ltd., Darlaston, England, 2006.-20 p.
3. Цыпин И. И. Белые износостойкие чугуны эволюция и перспективы / И. И. Цыпин // Литейное производство, 2000. - №9. - С. 15-16.
4. Norman T. E. Materials for the Mining Industry, Symposium. / T. E. Norman. Colorado. 2004.-p. 207-217.
5. Гарбер М.Е. Отливки из белых износостойких чугунов / М.Е. Гарбер. -М.: Машиностроение, 2002. 107 с.
6. Ри Х. Влияние легирующих элементов на кристаллизацию, структурообразование и физико-механические свойства белого чугуна / Х. Ри, Э. Х. Ри,
7. В. А. Тейх, Н. Ф. Бомко, Я. В. Соболева // Литейное производство, 2000. - №10.-С. 15-17.
8. Жуков А. А. Износостойкие отливки из комплексно-легированных белых чугунов / А. А. Жуков, Г. И. Сильман, М. С. Фрольцов. М. : Машиностроение, 2004. - С. 102.
9. Л. М. Пикулина, К. Н. Миняйловский // Литейное производство. 2009. - №2. — С. 29.
10. Колокольцев В.М. Взаимосвязь структуры, механических свойств и износостойкости сплавов системы железо-углерод-ванадий / В. М. Колокольцев, М. : Машиностроение, 2009. - С. 102.
11. М. Г. Потапов, С. В. Арисов // Литейные процессы. Вып. 2. : Межрегион, сб. науч. тр. Магнитогорск; МГТУ, 2002.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| | | | | | | 43 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

12. Молочков П. А. Влияние легирующих элементов на свойства белых износостойких чугунов. / П. А. Молочков, С. В. Арисов, В. М. Сидоренко //Литейные процессы. Вып. 2 .: Межрегион, сб. науч. тр.- Магнитогорск; МГТУ, 2002.
13. Гольдштейн Я. Е. Структура и свойства износостойких белых чугунов / Я. Е. Гольдштейн, Н. С. Хисматуллина, и др. // МиТОМ. 1996. - №8.
14. Maratray F. Alloyed abrasion and wear resisting white irons. In Foundry Technology. University of Warwick, Birmingham, 2009. pp. 7.1-7.13.
15. Колокольцев В .М. Совершенствование режимов плавки высокохромистого чугуна и термообработка отливок из него / В. М. Колокольцев, В. Н. Аксенов и др. // Литейное производство. 2004. -№3. С. 5.
16. Рожкова Е. В. Износостойкие чугуны с повышенной обрабатываемостью / Е. В. Рожкова, И. Е. Ватковская, И. И. Цыпин // Литейное производство. 1994. -№8. С. 8.
17. Косилов А. А. Термообработка высокохромистого чугуна / А. А. Косилов, А. А. Круглое, В. Н. Ребонен // Литейное производство. 2001. — №6. — С. 1314.
18. Рожкова Е. В. Износостойкие чугуны с повышенной обрабатываемостью / Е. В. Рожкова, И. Е. Ватковская, И. И. Цыпин // Литейное производство. 1994. - №8.-С. 8.
19. Покалов В. Черные и легирующие металлы. Проблемы и прогноз. // Национальная металлургия. 2002. -№1. С. 3-15.
20. Садовский В. М. Влияние содержания углерода и хрома на свойства высокохромистого чугуна / В. М. Садовский, О. С. Комаров и др. // Литейное производство. 2008.-№5.-С. 12-13.
21. Петров Л. А. Исследование высокотемпературной коррозии чугунов ЧС5Ш, ЧХ28 и ЧЮ22Ш /Л. А. Петров, А. И. Беляков, В. А. Таржуманова // Литейное производство. 2009. -№10. С. 23-24.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 44 |

22. Ри Х. Коррозионная стойкость и жаростойкость легированных белых чугунов / Х. Ри, Э. Х. Ри, В. А. Тейх и др. // Литейное производство. 2000. №3.1. С. 13-14.

23. Боголюбский С. Д. Коррозионная стойкость сталей для изготовления ножей. / С. Д. Боголюбский, В. В. Гук, А. П. Шлямнев // Металловедение и термическая обработка металлов. 2001 -№7. С. 10-12.

28. Виноградов В.Н., Сорокин Г.М. Механическое изнашивание сталей и сплавов. М.: Недра, 1996. 362-364 с.

29. Кащеев В.И. Процессы в зоне фрикционного контакта металлов. М.: Машиностроение, 2008. 215 с.

30. Fairhuest W. And Stolk D. A. Cromium-Molibdenum Whyte Cast Irons for Abrasive Applications. Foundry trade Journal. 2012, v 132, №2885, P. 401-408

31. Barthel A., Hoffmeister H., Schurmann E. Einflub der chemischen zusamensetzung und der Abkuhlundsbedingungen aut den Gefugezustand von Gubeisen mit rd. 3% C und 14% Cr fur Walzen. -Archiv fur das Eisenhutzenwesen, 2004, Bd. 45, № 11, S. 795-801

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| | | | | | | 45 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица химического состава чугунов, используемых для изготовления гильз цилиндров автомобильных двигателей.

| Марка двигателя | Химический состав, % | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|----------------------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|-----|
| | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Cu | Ti | V | Mo | |
| Нелегированные и низколегированные | | | | | | | | | | | | |
| GKN, 5 | 3,2 | 2 | 0,65 | 0,2 | - | 0,4 | - | - | - | - | - | - |
| GKN, 11 | 3,4 | 2,5 | 0,65 | 0,18 | - | 0,3 | 0,25 | - | - | - | - | 0,4 |
| GKN, 28 | 3,2 | 1,9 | 0,65 | 0,25 | - | - | - | 0,8 | 0,04 | - | - | - |
| ЗМЗ-53 | 3,1- | 2,2- | 0,7- | 0,18- | | 0,2- | 0,15- | | | | | |
| | 3,4 | 2,4 | 1,2 | 0,25 | 0,12 | 0,35 | 0,35 | - | - | - | - | - |
| ЗИЛ-130, СЧ 18-36 | 3,2- | 1,9- | 0,7- | 0,2- | | 0,2- | | | | | | |
| | 3,6 | 2,4 | 1,2 | 0,3 | 0,12 | 0,35 | 0,35 | - | - | - | - | - |
| Caterpillar | 3,2 | 2,17 | 0,73 | - | - | 0,25 | - | 0,23 | 0,03 | 0,04 | - | - |
| Среднелегированные | | | | | | | | | | | | |
| САМАТЗ | | | | | | | | | | | | |
| U | 3,29 | 2,16 | 0,72 | 0,07 | - | 0,33 | 0,32 | 0,55 | 0,02 | 0,05 | 0,16 | - |
| ЯМЗ-236 | 3,2- | 2,1- | 0,6- | | | 0,3- | | 0,15 | | | | |
| | 3,5 | 2,6 | 0,8 | 0,2 | 0,12 | 0,45 | 0,12 | -0,4 | 0,08 | - | - | - |
| КамАЗ-740 | 3,1- | 1,9- | 0,6- | | | 0,25 | 0,15- | 0,25 | | | | |
| | 3,4 | 2,5 | 0,9 | 0,2 | 0,12 | -0,5 | 0,4 | -0,4 | 0,12 | - | - | - |

| Низколегированные фосфористые | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|------|--------------|---------------|-------------|------|---|------|
| AE Franse | 2,8- 3,5 | 1,7- 2,5 | 0,5- 1,0 | 0,35- 0,65 | 0,1 | 0,2- 0,5 | - | - | - | - | - |
| Тев.- Thompso n,A62 | 3,2- 3,5 | 1,8- 2,2 | 0,6- 1,0 | 0,3- 0,5 | 0,07 | 0,2- 0,5 | - | - | - | - | - |
| Тев.- Thompso n,A82 | 3,2- 3,5 | 1,8- 2,2 | 0,6- 1,0 | 0,3- 0,5 | 0,07 | 0,2- 0,5 | 0,3- 0,6 | - | - | - | - |
| ЗИЛ-130, КМЗ | 3,1- 3,5 | 1,8- 2,5 | 0,5- 1,0 | 0,4 | 0,15 | 0,25 -0,6 | 0,3 | 0,3 | - | - | - |
| NPR CI(Cu,Cr) | 3,0- 3,7 | 1,4- 2,5 | 0,5- 1,0 | 0,5- 1,0 | 0,12 | 0,2- 0,5 | - | 0,2- 0,5 | - | - | - |
| Среднелегированные фосфористые | | | | | | | | | | | |
| Тев.- Thompso n,A92 | 3,8- 4,3 | 1,0- 1,4 | 0,1- 0,4 | 0,1- 0,4 | 0,04 | 0,2- 0,4 | - | 0,4- 0,8 | - | - | 0,4 |
| ЗМЗ- 2401 | 3,3- 3,7 | 2,2- 2,6 | 0,5- 0,7 | 0,3- 0,45 | 0,1 | 0,5- 0,75 | 0,15- 0,5 | 0,5- 0,8 | 0,15 | - | - |
| ДОЙЦ | 3,57 | 1,9 | 0,7 | 0,45 | - | 0,33 | 0,13 | 0,32 | - | - | - |
| FIAT | 3,3 | 2,25 | 0,67 | 0,53 | - | 0,41 | 0,17 | 0,4 | 0,03 | - | 0,43 |
| NPR (Ni,Cr,Mo) | 3,0- 3,7 | 1,4- 2,5 | 0,5- 1,0 | 0,2- 0,5 | 0,12 | 0,5- 1,2 | 0,15- 0,25 | - | - | - | 0,25 |

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Данные из динамического расчёта двигателя 6Ч13\14.

| j | P _г , кН | P _г , кН | P _с , кН | N, кН | P _ш , кН | Z, кН | T, кН |
|-----|---------------------|---------------------|---------------------|---------|---------------------|----------|----------|
| 0 | -0,004 | -22,4583 | -22,4623 | 0,0000 | -22,4623 | -22,4623 | 0,0000 |
| 10 | -0,004 | -21,9061 | -21,9101 | -1,0017 | -21,9330 | -21,4033 | -4,7911 |
| 20 | -0,004 | -20,2918 | -20,2958 | -1,8331 | -20,3784 | -18,4449 | -8,6641 |
| 30 | -0,004 | -17,7377 | -17,7417 | -2,3535 | -17,8971 | -14,1880 | -10,9090 |
| 40 | -0,004 | -14,4337 | -14,4377 | -2,4764 | -14,6485 | -9,4681 | -11,1774 |
| 50 | -0,004 | -10,6178 | -10,6218 | -2,1848 | -10,8441 | -5,1539 | -9,5411 |
| 60 | -0,004 | -6,5526 | -6,5565 | -1,5337 | -6,7335 | -1,9501 | -6,4450 |
| 70 | -0,004 | -2,4992 | -2,5032 | -0,6384 | -2,5833 | -0,2562 | -2,5706 |
| 80 | -0,004 | 1,3068 | 1,3028 | 0,3494 | 1,3488 | -0,1178 | 1,3437 |
| 90 | -0,004 | 4,6766 | 4,6726 | 1,2737 | 4,8431 | -1,2737 | 4,6726 |
| 100 | -0,004 | 7,4823 | 7,4783 | 2,0054 | 7,7426 | -3,2735 | 7,0165 |
| 110 | -0,004 | 9,6642 | 9,6602 | 2,4638 | 9,9695 | -5,6192 | 8,2349 |
| 120 | -0,004 | 11,2292 | 11,2252 | 2,6257 | 11,5282 | -7,8865 | 8,4084 |
| 130 | -0,004 | 12,2420 | 12,2380 | 2,5172 | 12,4942 | -9,7947 | 7,7568 |
| 140 | -0,004 | 12,8095 | 12,8055 | 2,1964 | 12,9925 | -11,2214 | 6,5487 |
| 150 | -0,004 | 13,0611 | 13,0572 | 1,7321 | 13,1715 | -12,1739 | 5,0286 |
| 160 | -0,004 | 13,1269 | 13,1229 | 1,1852 | 13,1763 | -12,7369 | 3,3745 |
| 170 | -0,004 | 13,1170 | 13,1130 | 0,5995 | 13,1267 | -13,0179 | 1,6867 |
| 180 | -0,004 | 13,1051 | 13,1012 | 0,0000 | 13,1012 | -13,1012 | 0,0000 |
| 190 | -0,123 | 13,1170 | 12,9936 | -0,5940 | 13,0072 | -12,8994 | -1,6713 |
| 200 | -0,097 | 13,1269 | 13,0300 | -1,1768 | 13,0831 | -12,6467 | -3,3507 |
| 210 | -0,044 | 13,0611 | 13,0174 | -1,7268 | 13,1314 | -12,1367 | -5,0132 |
| 220 | 0,023 | 12,8095 | 12,8321 | -2,2010 | 13,0195 | -11,2447 | -6,5622 |
| 230 | 0,129 | 12,2420 | 12,3706 | -2,5445 | 12,6296 | -9,9009 | -7,8409 |
| 240 | 0,275 | 11,2292 | 11,5038 | -2,6909 | 11,8143 | -8,0823 | -8,6171 |
| 250 | 0,460 | 9,6642 | 10,1245 | -2,5823 | 10,4487 | -5,8893 | -8,6308 |
| 260 | 0,739 | 7,4823 | 8,2213 | -2,2046 | 8,5117 | -3,5987 | -7,7136 |
| 270 | 1,124 | 4,6766 | 5,8003 | -1,5811 | 6,0119 | -1,5811 | -5,8003 |
| 280 | 1,694 | 1,3068 | 3,0009 | -0,8047 | 3,1069 | -0,2714 | -3,0951 |
| 290 | 2,543 | -2,4992 | 0,0440 | -0,0112 | 0,0454 | 0,0045 | -0,0451 |

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |
| | | | | | 49 | |

| | | | | | | | |
|-----|---------|----------|---------|---------|---------|----------|---------|
| 300 | 3,870 | -6,5526 | -2,6827 | 0,6275 | -2,7551 | -0,7979 | 2,6371 |
| 310 | 6,046 | -10,6178 | -4,5722 | 0,9405 | -4,6680 | -2,2186 | 4,1071 |
| 320 | 9,787 | -14,4337 | -4,6470 | 0,7971 | -4,7148 | -3,0475 | 3,5976 |
| 330 | 16,433 | -17,7377 | -1,3045 | 0,1730 | -1,3159 | -1,0432 | 0,8021 |
| 340 | 28,002 | -20,2918 | 7,7098 | -0,6963 | 7,7411 | 7,0066 | -3,2912 |
| 350 | 60,478 | -21,9061 | 38,5718 | -1,7634 | 38,6121 | 37,6796 | -8,4345 |
| 360 | 105,531 | -22,4583 | 83,0727 | 0,0000 | 83,0727 | 83,0727 | 0,0000 |
| 370 | 105,080 | -21,9061 | 83,1738 | 3,8025 | 83,2607 | 81,2499 | 18,1877 |
| 380 | 75,841 | -20,2918 | 55,5488 | 5,0170 | 55,7749 | 50,4828 | 23,7133 |
| 390 | 49,361 | -17,7377 | 31,6229 | 4,1948 | 31,9000 | 25,2888 | 19,4443 |
| 400 | 32,234 | -14,4337 | 17,7999 | 3,0531 | 18,0599 | 11,6731 | 13,7804 |
| 410 | 21,846 | -10,6178 | 11,2282 | 2,3095 | 11,4632 | 5,4481 | 10,0858 |
| 420 | 15,478 | -6,5526 | 8,9255 | 2,0878 | 9,1664 | 2,6547 | 8,7736 |
| 430 | 11,445 | -2,4992 | 8,9458 | 2,2816 | 9,2322 | 0,9156 | 9,1866 |
| 440 | 8,792 | 1,3068 | 10,0985 | 2,7080 | 10,4553 | -0,9132 | 10,4153 |
| 450 | 6,934 | 4,6766 | 11,6110 | 3,1651 | 12,0347 | -3,1651 | 11,6110 |
| 460 | 5,594 | 7,4823 | 13,0768 | 3,5066 | 13,5388 | -5,7241 | 12,2692 |
| 470 | 4,653 | 9,6642 | 14,3168 | 3,6515 | 14,7751 | -8,3279 | 12,2045 |
| 480 | 3,989 | 11,2292 | 15,2184 | 3,5598 | 15,6292 | -10,6921 | 11,3996 |
| 490 | 3,498 | 12,2420 | 15,7403 | 3,2376 | 16,0698 | -12,5978 | 9,9767 |
| 500 | 3,167 | 12,8095 | 15,9762 | 2,7403 | 16,2095 | -13,9999 | 8,1702 |
| 510 | 2,915 | 13,0611 | 15,9758 | 2,1192 | 16,1157 | -14,8950 | 6,1526 |
| 520 | 2,755 | 13,1269 | 15,8823 | 1,4345 | 15,9470 | -15,4151 | 4,0841 |
| 530 | 2,663 | 13,1170 | 15,7796 | 0,7214 | 15,7961 | -15,6652 | 2,0297 |
| 540 | 0,089 | 13,1051 | 13,1940 | 0,0000 | 13,1940 | -13,1940 | 0,0000 |
| 550 | 0,089 | 13,1170 | 13,2059 | -0,6037 | 13,2197 | -13,1101 | -1,6986 |
| 560 | 0,089 | 13,1269 | 13,2158 | -1,1936 | 13,2696 | -12,8270 | -3,3984 |
| 570 | 0,089 | 13,0611 | 13,1500 | -1,7444 | 13,2652 | -12,2604 | -5,0643 |
| 580 | 0,089 | 12,8095 | 12,8984 | -2,2124 | 13,0868 | -11,3028 | -6,5962 |
| 590 | 0,089 | 12,2420 | 12,3308 | -2,5363 | 12,5890 | -9,8690 | -7,8157 |
| 600 | 0,089 | 11,2292 | 11,3180 | -2,6474 | 11,6236 | -7,9518 | -8,4780 |
| 610 | 0,089 | 9,6642 | 9,7531 | -2,4875 | 10,0653 | -5,6733 | -8,3141 |
| 620 | 0,089 | 7,4823 | 7,5712 | -2,0303 | 7,8387 | -3,3141 | -7,1036 |
| 630 | 0,089 | 4,6766 | 4,7655 | -1,2991 | 4,9394 | -1,2991 | -4,7655 |
| 640 | 0,089 | 1,3068 | 1,3957 | -0,3743 | 1,4450 | -0,1262 | -1,4395 |
| 650 | 0,089 | -2,4992 | -2,4103 | 0,6148 | -2,4875 | -0,2467 | 2,4752 |

| | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|--|--|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | | | Лист |
| | | | | | | | | 50 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | |

| | | | | | | | |
|-----|-------|----------|----------|--------|----------|----------|---------|
| 660 | 0,089 | -6,5526 | -6,4637 | 1,5119 | -6,6382 | -1,9225 | 6,3537 |
| 670 | 0,089 | -10,6178 | -10,5289 | 2,1657 | -10,7493 | -5,1089 | 9,4577 |
| 680 | 0,089 | -14,4337 | -14,3448 | 2,4604 | -14,5543 | -9,4072 | 11,1055 |
| 690 | 0,089 | -17,7377 | -17,6488 | 2,3412 | -17,8034 | -14,1138 | 10,8519 |
| 700 | 0,089 | -20,2918 | -20,2030 | 1,8247 | -20,2852 | -18,3605 | 8,6245 |
| 710 | 0,089 | -21,9061 | -21,8173 | 0,9974 | -21,8400 | -21,3126 | 4,7708 |
| 720 | 0,089 | -22,4583 | -22,3694 | 0,0000 | -22,3694 | -22,3694 | 0,0000 |

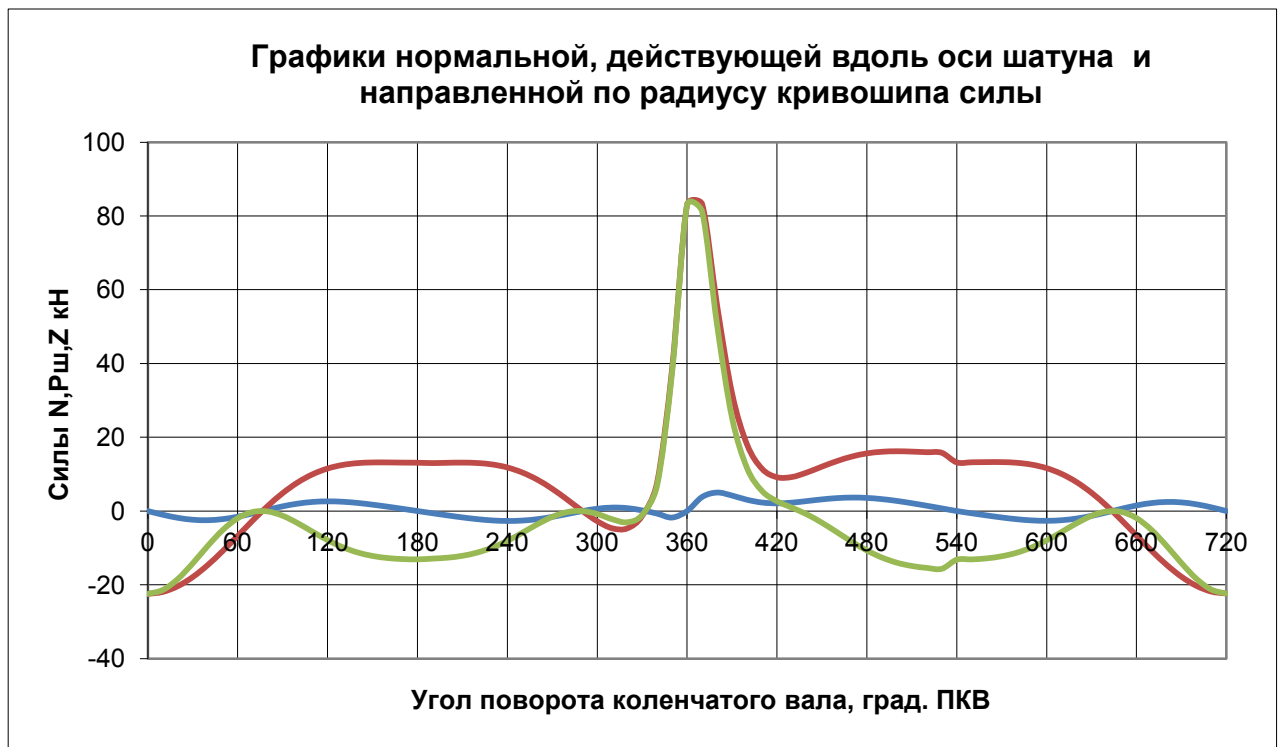


Рисунок 1. График сил R, N, Z

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица марок легированного чугуна для отливок.

| Вид чугуна | | Марка | Свойство отливок |
|------------|--------------------|--------|-------------------------------------|
| Хромистые | низколегированные | ЧХ1 | Жаростойкие |
| | | ЧХ2 | |
| | | ЧХ3 | Жаростойкие, износостойкие |
| | | ЧХ3Т | Износостойкие |
| | высоколегированные | ЧХ9Н5 | Износостойкие |
| | | ЧХ16 | Износостойкие, жаростойкие |
| | | ЧХ16М2 | Износостойкие |
| | | ЧХ22 | |
| | | ЧХ22С | Коррозионно-стойкие и жаростойкие |
| | | ЧХ28 | |
| | | ЧХ28П | Стойкие в цинковом расплаве |
| | | ЧХ28Д2 | Износостойкие и коррозионно-стойкие |
| | | ЧХ32 | Жаростойкие и износостойкие |
| Кремнистые | низколегированные | ЧС5 | Жаростойкие |
| | | ЧС5Ш | |
| | высоколегированные | ЧС13 | Коррозионно-стойкие в жидкой среде |
| | | ЧС15 | |
| | | ЧС17 | |
| | | ЧС15М4 | |
| | | ЧС17М3 | |

| | | | |
|-------------|--------------------|--------------------|--|
| Алюминиевые | низколегированные | ЧЮХШ | Жаростойкие |
| | высоколегированные | ЧЮ6С5 ЧЮ7Х2 | Жаростойкие и износостойкие |
| | | ЧЮ22Ш ЧЮ30 | Жаростойкие и износостойкие при высокой температуре |
| Марганцевые | высоколегированные | ЧГ6С3Ш ЧГ7Х4 | Износостойкие |
| Никелевые | низколегированные | ЧНХТ | Коррозионно-стойкие в газовых средах двигателей внутреннего сгорания |
| | | ЧНХМД ЧНМШ | |
| | | ЧНДХМШ | Коррозионно-стойкие в газовых средах двигателей внутреннего сгорания, повышенной прочности |
| | | ЧН2Х ЧН4Х2 | Износостойкие |
| | | ЧН3ХМДШ | Износостойкие, повышенной прочности |
| | высоколегированные | ЧН4Х2 | Износостойкие |
| | | ЧН11Г7Ш ЧН15Д3Ш | Жаропрочные и маломагнитные |
| | | ЧН15Д7 | Износостойкие в двигателях и маломагнитные |
| | | ЧН19Х3Ш | Жаропрочные и маломагнитные |

Примечание. В обозначении марок чугуна буквы означают: Ч - чугун; легирующие элементы: Х - хром, С - кремний, Г - марганец, Н - никель, Д - медь, М - молибден, Т - титан, П - фосфор, Ю - алюминий; буква Ш указывает, что графит в чугуне имеет шаровидную форму.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ - 130403.2019.070 ПЗ ВКР</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 53 |