Оглавление

ВВЕДЕНИЕ....4
1. АНАЛИЗ ИЗНОСОВ И ОТКАЗОВ БАЗОВЫХ ДЕТАЛЕЙ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ 6ЧСП 18/22....7
1.1 Краткая характеристика дизеля 6ЧСП 18/22....7
1.2 Актуальность проблемы технического состояния базовых деталей дизелей.. .13
1.3. Влияние износов и нарушений взаимного положения базовых деталей на износы кинематически связанных деталей и узлов двигателя....14
1.4 Изменение геометрических параметров базовых....20
поверхностей деталей остова двигателя....20
1.5 Статистические данные изменение размеров и формы и взаимного расположения поверхностей базовых деталей....21
2. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ....25
2.1. Восстановление механической обработкой....26
2.2. Восстановление деталей металлизацией и напылением....28
2.3. Восстановление гальванопластикой....31
2.4. Восстановление полимерными покрытиями....32
3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ОСНАСТКИ И ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНАВЛЕНИЯ БАЗОВЫХ ДЕТАЛЕЙ....37
3.1 Технологический процесс механической обработки....37
3.2 Технологический процесс плазменного напыления....42
3.3 Технологический процесс гальванопластикой....46
3.4 Расчет режимов резанья....49
3.5 Расчет приспособления для закрепления фундаментной рамы на плите....51
4.2 Выводы по оценки пожароопасной обстановке....58
4.3. Рекомендации по предотвращению пожара и действия применяемые персоналом....59

5.ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ. РАСЧЕТ ПОРШНЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....60
5.1. Информация о файле.....60
5.2. Материалы.....60
5.3. Информация о нагрузке и ограничении.....60
5.4. Свойство исследования.....60
5.5. Результаты.....61
5.5.1. Напряжение.....61
5.5.2. Перемещение.....62
5.5.1. Деформация.....63
5.5.1. Запас прочности.....63
5.6. Приложение.....64
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....81
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....82

Введение

В настоящее время одной из отраслей, значительно влияющих на экономическое положение государства, является транспорт, в том числе и водный.

Рентабельность эксплуатации судов речного флота в значительной степени определяется себестоимостью перевозок, на величину которых заметное влияние оказывают затраты на средний и капитальный ремонты судов, составляющие 30 - 50% общих затрат на содержание флота. Если же учесть, что в структуре ремонтных издержек по судну в целом наибольший удельный вес занимают затраты на ремонт судовых двигателей, то становится очевидной актуальность разработки мероприятий, обеспечивающих повышение послеремонтного ресурса двигателей.

Практика эксплуатации судовых двигателей показывает, что межремонтные периоды двигателей после капитального ремонта составляют 40 - 60% от ресурса нового двигателя.

В процессе эксплуатации судовых двигателей первоначальные размеры и свойства, установленные технической документацией, изменяются вследствие изнашивания и повреждений.

Износы, образующиеся в результате нормальной работы двигателей, вследствие постоянного воздействия физических неустранимых факторов, такие как трение, коррозия, эрозия, усталость, кавитация, пластические деформации, называются нормальными физическими износами.

Нормальный износ в случае несвоевременного его устранения может достичь предельных значений и привести к повреждениям и авариям двигателей.

Важным вопросом технологии ремонта является восстановление изношенных деталей, а также особенности ремонта судового оборудования.

Большинство изношенных деталей судовых механизмов может быть многократно использовано либо путем обработки их на ремонтные размеры, либо наращиванием различными методами.

Обработка деталей на ремонтные размеры вызывает изменение их веса, нарушает цикл работы механизма и не обеспечивает полной взаимозаменяемости.

В ремонтном производстве различных машин и механизмов широкое распространение получили методы металлопокрытий такие как газотермическая металлизация, электронаплавка, плазменное напыление, электролитические методы и др.

Сопоставление этих методов восстановления деталей показывает, что наиболее дешевым является восстановление деталей электролитическими методами.

Основными задачами предприятий речного и морского транспорта являются: снижение стоимости и сокращение длительности ремонта судов, повышение качества выпускаемой ими продукции.

Решений этих задач позволит уменьшить затраты на продукцию речного и морского транспорта и увеличить объем перевозок.

Современное судно является сложным инженерным сооружением. Оно состоит из целого ряда корпусных конструкций, судовых машин, устройств и систем. Все эти конструкции, машины, устройства и системы, функционируя как единое целое, в эксплуатации подвергаются постепенному и непрерывному изменению своей работоспособности под действием механических нагрузок, физико-химических факторов и т.п. Этот процесс, обусловленный указанными нагрузками, называют старением или физическим изнашиванием, а его результат - физическим износом. При старении элементы судна ухудшают или утрачивают свои функциональные свойства.

Утрата изделием работоспособности вызывает так называемые отказы. Отказы по характеру своего проявления классифицируют на внезапные и постепенные.

Внезапные отказы проявляются мгновенно в форме повреждений или разрушений. Наработка на отказ в этом случае оказывается величиной случайной и прогнозированию не поддается. Они приводят к необходимости проведения внеочередных освидетельствований судов и ремонта поврежденных элементов конструкций.

Постепенные отказы появляются при закономерном изнашивании элементов изделий за счет трения, усталости, коррозии, эрозии.

Результат этого процесса принято считать нормальным износом. Время наработки изделия на такой отказ с достаточной точностью можно прогнозировать.

Большинство деталей судовых машин и конструкций утрачивают свою работоспособность постепенно. Этот процесс происходит до достижения некоторого предельного состояния или предельного износа, после чего дальнейшая их эксплуатация становится невозможной или технически

нецелесообразной. Восстановление функциональных свойств изделий до работоспособного состояния требует проведения ремонтных работ.

К предельным состояниям деталей машин и конструкций относят:

- потерю прочности, выражающуюся в разрушении или остаточной деформации детали вследствие перегрузок или многократных переменных напряжений;

-возникновение предельных зазоров между трущимися поверхностями в сборочных единицах.

Интенсивность изнашивания судовых конструкций, деталей машин и механизмов, устройств и систем существенно отличается по элементам судна и отдельным сборочным единицам. Часто на практике возникают такие ситуации, при которых суда выводят из эксплуатации для ремонта или восстановления износившихся конструкций и машин, в то время как другие их элементы не требуют восстановления работоспособности. Отсутствие такой равно- и кратноизносостойкости усложняет планирование и технологическую подготовку судоремонта.

В организационном отношении в смежных отраслях разработаны предложения по проведению ремонтных работ на основании оценки фактического состояния конструкций и машин. Так называемое техническое обслуживание и ремонт по фактическому состоянию наиболее характерно для рыбопромысловых и морских судов, как часто находящихся на значительном удалении от ремонтных баз.

Отсюда следует, что одной из основных задач совершенствования судов должно являться повышение износостойкости судовых конструкций.

1. АНАЛИЗ ИЗНОСОВ И ОТКАЗОВ БАЗОВЫХ ДЕТАЛЕЙ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ 6ЧСП 18/22

1.1 Краткая характеристика дизеля 6ЧСП 18/22

Дизель 6ЧСП 18/22 представляет собой шестицилиндровый, четырехтактный, простого действия бескомпрессорный судовой дизель с камерой сгорания в поршне, применяется в качестве главного и вспомогательного судового двигателя. Общий вид дизеля приведен на рис. 1.1. Он оборудован реверсивно-редукторной передачей.



Рис. 1.1. Общий вид дизеля 6ЧСП 18/22

Основные параметры дизелей ЧСП18/22 приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1 – Основные параметры дизелей ЧСП18/22

Параметры	Значение
Номинальная мощность, кВт (э. л. с.)	110(150)
Номинальная частота вращения,	750
об/мин	
Диаметр цилиндра, мм	180
Ход поршня, мм	220
Число цилиндров	6
Среднее эффективное давление, Н/м2Х	5,4
Х10	
Удельный расход, г/(кВт-ч)	
[г/(э. л. с.ч]:	
топлива	224(165)
масла	5,45(4)
Тип реверсредукторнои передачи	25РРП-230
Передаточное отношение:	
на переднем ходу	1:1; 1:1,67; 1:2,14
на заднем ходу	1;2
Ресурс, ч:	
до первой переборки	4000
полный	30000
Масса дизеля, кг	4327
Габаритные размеры, мм:	
длина	3213
ширина	1 000
высота	1 525

На рис. 1.2 приведена внешняя характеристика дизеля 6ЧСП 18/22, показывающая зависимость мощности, среднего эффективного давления и температуры выпускных газов от числа оборотов коленчатого вала.

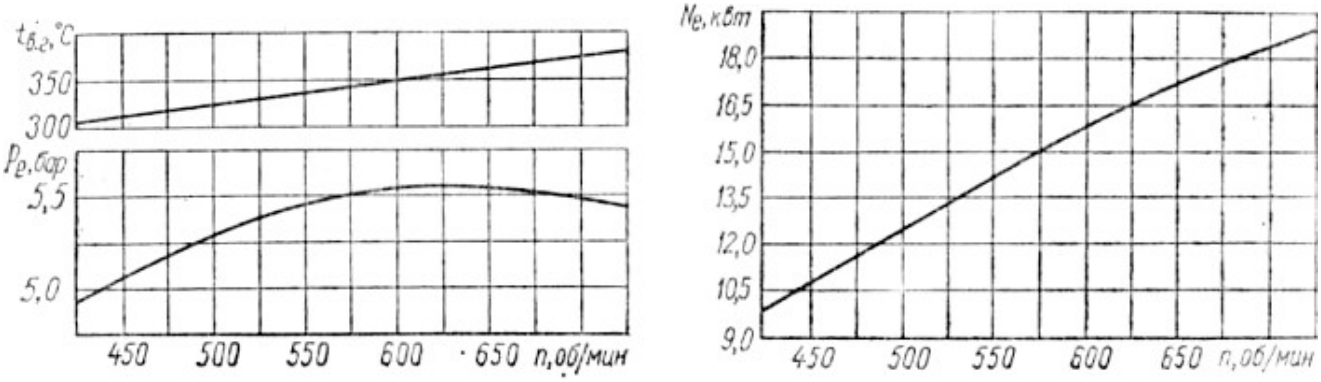


Рис. 1.2. Внешняя характеристика одноцилиндрового отсека дизеля 6ЧСП 18/22

Фундаментная рама – литая из серого чугуна марки СЧ 18-36. Рама имеет коробчатую форму с поперечными перегородками, с расточенными постелями для нижних вкладышей коренных подшипников. Всего коренных подшипников семь: шесть опорных и один (средний) опорно-упорный. Вкладыши коренных подшипников – стальные. Они состоят из двух половинок и заливаются баббитом марки Б-83.

На боковых стенках рамы расположены смотровые люки, через которые обеспечивается доступ к кривошипно-шатунному механизму и коренным подшипникам. Днище рамы выполнено с уклоном; передняя часть ее является сборником и резервуаром масла. На наружных боковых поверхностях рамы имеются опорные лапы для крепления остова дизеля к фундаменту.

Блок цилиндров представляет собой отливку из серого чугуна марки СЧ 18-36. Крепится он к фундаментной раме шпильками и соединительными болтами.

Цилиндровые втулки – вставные, изготовлены из чугуна марки СЧ 24-44 с присадкой хрома и никеля. Уплотнение втулок в гнездах блока вверху производится притертым буртом, а внизу – двумя резиновыми кольцами. Пространство между цилиндровыми втулками и стенками блока является рубашкой, через которую проходит охлаждающая вода.

В нижних правой и левой частях блока расположены постели для втулок подшипников распределительного вала и гнезда для направляющих втулок толкателей. В передней части блока расположены: привод регулятора, шестерни привода водяного и топливного насосов, а также промежуточные шестерни. Передние торцовые части блока и рамы закрыты крышкой. По углам блока цилиндров размещены четыре петли для подъема дизеля краном.

Крышки цилиндров отлиты из чугуна марки СЧ24-44. На каждой крышке установлена форсунка, всасывающий и выпускной клапаны и индикаторные краны. В случае необходимости допускается установка на крышках пятого и шестого цилиндров газо-отборных клапанов вместо индикаторных кранов. В задней части крышек цилиндров расположены пусковые клапаны. Всасывающий и впускной клапаны имеют одинаковую конструкцию и изготовлены из жаростойкой стали. Общий для всех крышек цилиндров выхлопной коллектор имеет зарубашечное пространство для охлаждения водой. Крепится он при помощи болтов.

Коленчатый вал – цельнокованый, изготовлен из стали 45. Он имеет шесть шатунных и семь коренных шеек. Колена вала расположены под углом 120°, причем первое колено по направлению совпадает с шестым, второе – с пятым, третье – с четвертым. В каждом колене имеется косое сверление, соединяющее радиальные сверления в коренных и шатунных шейках вала. Предназначены они для подвода масла к шатунным шейкам и через отверстия в шатуне – к верхней головке шатуна.

На фланце заднего конца коленчатого вала при помощи контрольных штифтов и болтов закреплен маховик, который при помощи эластичной муфты соединяется с реверс-редукторной передачей или генератором. На переднем конце вала насажена шестерня для привода агрегатов дизеля.

Поршни отлиты из чугуна. В днище поршня расположена камера сгорания конструкции ЦНИДИ, а в его кольцевых канавках по наружной поверхности – четыре компрессионных и два сдвоенных маслосъемных кольца. Верхнее компрессионное кольцо хромированное. Маслосъемные кольца устанавливаются острыми кромками вниз по два в двух канавках. Поршень соединяется с шатуном при

помощи полого цементированного и закаленного пальца плавающего типа. От осевых перемещений палец удерживается двумя стопорными кольцами.

На рис. 1.3 приведен поперечный разрез дизеля 6ЧСП18/22.

Шатун стальной, двутаврового сечения, имеет центральное отверстие для подвода смазки к головному подшипнику. В верхнюю головку шатуна запрессована бронзовая втулка, застопоренная винтом. Нижняя головка – разъемная. В ней размещены стальные вкладыши, залитые баббитом Б-83. В стыке между вкладышами имеется набор прокладок для регулирования масляного зазора.

Распределительный вал – разрезной (из двух частей, соединенных муфтой), выполнен за одно целое с кулаками впускных, выпускных и пусковых клапанов и приводится в движение от коленчатого вала посредством косозубых шестерен.

Топливный насос – блочного типа. Подача топлива регулируется изменением конца подачи путем поворота плунжера. В заднюю стенку насоса встроена шестеренчатая подкачивающая помпа.

Форсунка – закрытого типа, с щелевым фильтром; распылитель – с несколькими отверстиями; давление распыливания 180 бар.

Регулятор – центробежный, всережимный, прямого действия, допускающий изменение числа оборотов двигателя от минимально устойчивого состояния (300 об/мин) до величины, соответствующей 110%-ной нагрузке при работе двигателя по винтовой характеристике. Степень неравномерности регулятора может изменяться в пределах от 0 до 5%.

Система смазки двигателя – комбинированная, с «мокрым картером». Цилиндры и шестерни смазываются разбрызгиванием. Смазка других движущихся частей – циркуляционная. Шестеренчатый циркуляционный насос приводится в действие от коленчатого вала.

В системе смазки двигателя предусмотрены центрифуга реактивного типа, сдвоенный сетчатый фильтр и трубчатый холодильник. В корпусе холодильника установлен термостат для регулирования температуры масла в системе смазки. Давление масла в нагнетательной магистрали – 2–3 бар.

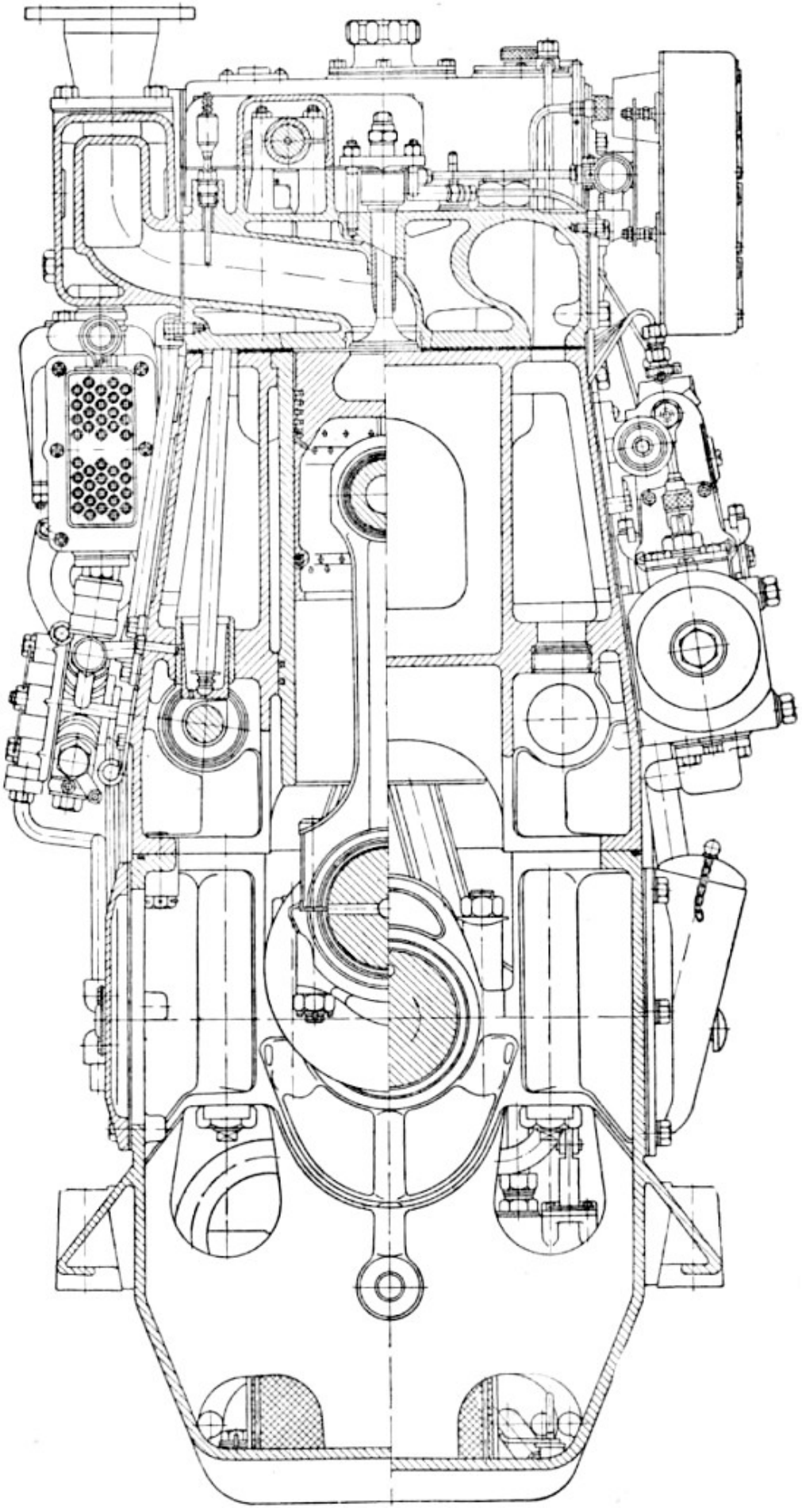


Рис. 1.3. Дизель 6ЧСП18/22 (поперечный разрез)

Система охлаждения двигателя – замкнутая. Цилиндры и крышки охлаждаются пресной водой. Холодильники масла и пресной воды, выхлопной коллектор, компрессор и холодильник масла реверс-редукторной передачи охлаждаются забортной водой. Насосы пресной и забортной воды приводятся в действие от коленчатого вала.

Контроль за температурным и скоростным режимами двигателя производится по показаниям дистанционных термометров и тахометра, расположенных на специальном щитке. Для определения количества отработанных двигателем часов на передней крышке блока цилиндров установлен счетчик моточасов – работометр.

Реверс-редуктор двигателя с передаточным числом 1 : 2,5 или 1 : 1,67 состоит из корпуса, в котором расположены ведущий и ведомый валы, шестерни редуктора, фрикционные муфты и упорный подшипник. Муфта включается и выключается с помощью гидравлического привода. Соединение ведущего вала реверс-редуктора с коленчатым валом двигателя осуществляется посредством эластичной муфты.

Система пуска – сжатым воздухом под давлением 30 бар. На двух цилиндрах имеются газоотборные клапаны для заполнения пусковых баллонов.

Двигатель рассчитан на 50%-ное повышение мощности за счет применения газотурбинного наддува. Двигатель 6ЧСП 18/22 имеет аварийно-предупредительную сигнализацию и привод для подключения к нему системы дистанционного управления.

1.2 Актуальность проблемы технического состояния базовых деталей дизелей.

Рентабельность эксплуатации судов речного флота в значительной степени определяется себестоимостью перевозок, на величину которых заметное влияние оказывают затраты на средний и капитальный ремонты судов, составляющие 30-50 % общих затрат на содержание флота. Если же учесть, что в структуре ремонтных издержек по судну в целом наибольший удельный вес занимают затраты на

ремонт судовых двигателей, то становится очевидной актуальность разработки мероприятий, обеспечивающих повышение послеремонтного ресурса двигателей.

Практика эксплуатации машин показывает, что межремонтные периоды двигателей после капитального ремонта составляют 40-60% от ресурса нового двигателя.

По сложившейся технологии при капитальном ремонте дизелей заменяются такие детали, как втулки цилиндров, поршни, поршневые пальцы и кольца, вкладыши подшипников коленчатых валов, шлифуются на ремонтные размеры шейки коленчатых и распределительных залов, а также подвергаются ремонту другие детали. Однако при этом базовые поверхности блоков цилиндров и фундаментных рам не восстанавливаются и поэтому ряд деталей устанавливаются в указанные посадочные поверхности. Это приводит к увеличению упругих деформаций и перемещению сопряженных деталей, т.е. нарушению условий их контактного взаимодействия, изменению оптимальных величин зазоров, взаимного расположения и т.п. Таким образом, нарушение погрешностей сборки деталей и узлов двигателя решающим образом будут влиять на надежность двигателей после капитального ремонта.

1.3. Влияние износов и нарушений взаимного положения базовых деталей на износы кинематически связанных деталей и узлов двигателя

Для количественной оценки фактических износов обработаны методом математической статистики данные массового микрометра деталей судовых дизелей основных типов и марок судов внутреннего плавания, поступающих на капитальный ремонт в специализированные дизелеремонтные цехи судоремонтных заводов.

Проанализированы износы основных деталей дизеля. Для достоверности выводов число измеряемых деталей одного наименования составляло не менее 100. Сбор экспериментальных данных и их статическая обработка выполнены в соответствии с "Руководством по анализу износов деталей и надежности

дизелей", Л-д, издательство "Транспорт", 1932. При этом весь диапазон значений износов разбивали на 5-10 интервалов. Число-измерений в каждом интервале не менее 5.

В качестве предельного износа в соответствии с теорией надежности принят наибольший износ 84% от общего числа измеренных деталей, которые удовлетворяют техническим требованиям и которые достигли этого значения износа, но не превысили его.

Характерными износами и повреждениями втулок цилиндров являются искажения геометрической формы и размеров внутренней рабочей поверхности, наружных посадочных поясков, коррозионно-эрозионные разрушения наружных поверхностей, охлаждаемых водой, раковины, царапины и задиры на рабочих поверхностях, трещины.

Изменения формы внутренней поверхности в виде отклонений от некруглости и цилиндричности и увеличение диаметра - результат изнашивания втулок цилиндров от трения.

Природа образования разрушений наружных поверхностей втулок цилиндров обуславливается коррозионно-эрозионными, явлениями посадочных поясов, коррозионно-кавитационными износами и фреттинг-коррозией.

Раковины на внутренних рабочих поверхностях втулок являются результатом некачественного литья и выявляются после определенного износа этих поверхностей. Царапины и задиры на рабочих поверхностях втулок появляются из-за поломки поршневых колец и из-за попадания со смазкой твердых посторонних частиц. Трещины на рабочих поверхностях втулок цилиндров могут появиться вследствие термических напряжений, нарушения режима охлаждения.

Наиболее характерными износами поршней судовых двигателей являются искажение геометрических форм и изменение размеров тронка, отверстия под поршневой палец, канавок под верхние компрессионные колена, а также прогорание донышка поршня.

Причины износа поршня по образующей тронка и отверстия под поршневой палец те же, что и у втулки цилиндров. Ведущий износ - износ канавок под

компрессионные кольца - результат механического изнашивания при ударных контактах от поршневых колец.

Распределение износов канавок поршней под компрессионные колена и отверстий в бобышках под поршневые пальцы приведены на рис

Основными видами износов и повреждений поршневых пальцев является: уменьшение диаметра, возникновение овальности и конусообразности, появление трещин.

Причины износов и повреждений поршневых пальцев механический и усталостный износ при циклических знакопеременных нагрузках.

Наиболее характерными износами коленчатых валов являются уменьшение диаметров, искажение формы (овальность, конусообразность, огранка коренных и шатунных шеек); нарушение взаимного расположения коренных и шатунных шеек (отклонение от параллельности и скрещивание осей), биение коренных и шатунных шеек; чрезмерные остаточные прогибы валов; образование микрорельефа шеек с параметрами шероховатости, большими допустимых; микро- и макротрещины на коренных и шатунных шейках и в галтелях; кольцевые риски на шейках.

Причины указанных износов – механический, усталостный, абразивный износ.

Характерными износами распределительных валов являются уменьшение диаметров, искажение формы (овальность, огранка) опорных шеек. Причиной указанных дефектов является механический износ шеек распределительных валов.

Приведенные в табл. 1.2 и 1.3 величины износа, обычно не устраняемые при капитальном ремонте дизелей, приводят к ухудшению условий трения и смазки, теплоотвода, усталостным разрушениям рабочих поверхностей кинематически связанных деталей, смещениям и переносам деталей.

Таблица 1.2 – Изменение геометрических параметров базовых поверхностей блоков цилиндров

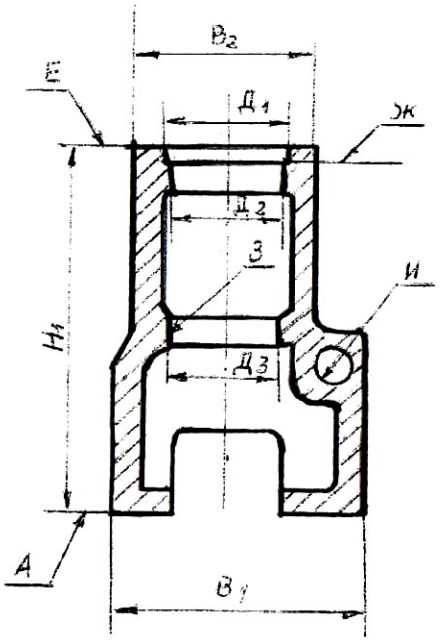
Поверхность Ж		Поверхность З		Поверхность И	
Неплоскостность	Непараллельность относительно плоскостей А и Е	Размер Д	Овальность	Общая несоосность	Износ
0,00-0,32	0,00-0,32	207,96-208,14	0,16	0,00…0,10	0,00…0,15

Таблица 1.3 – Изменение геометрических параметров базовых поверхностей фундаментных рам

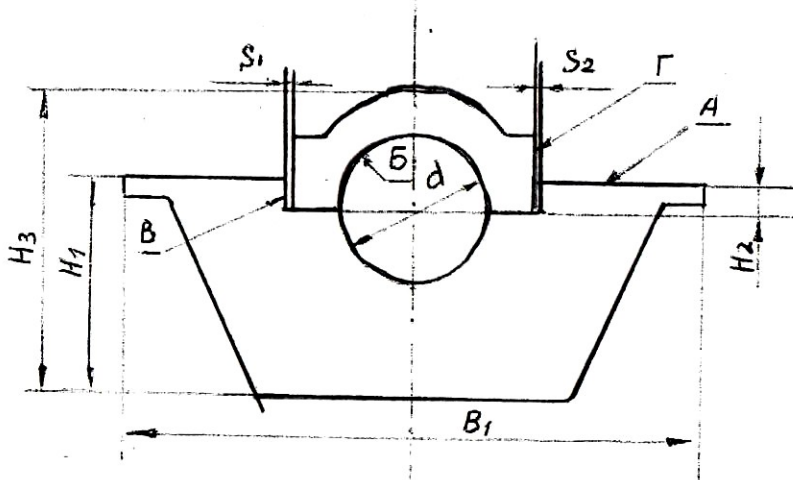
Поверхность Б			Зазор между поверхностями В и Г
Общая несоосность	Нарушение формы (некруглость)	Непараллельность общей оси относительно плоскоси А на длине рамы	
0,02-0,14	0,03-0,10	0,04-0,15	0,03-0,30

Так неплоскостность поверхности Г (рис. 1.4) нарушает герметичность сочленения, а ее непараллельность относительно плоскостей А и Е приводит к интенсификации изнашивания деталей цилиндропоршневой группы, образованию трещин и обрывам опорных буртов цилиндровых втулок. Перетяжка шпилек крышек цилиндров, производимая в процессе эксплуатации без динамометрических ключей, приводит к значительному превышению допустимого крутящего момента и создает большие деформации данной поверхности. Существенное искажение этой поверхности, вызывающее нарушение герметичности сочленения, происходит через 12-15 тыс.ч. работы дизеля. Поэтому ее контроль и восстановление необходимо производить не только при капитальном, но и при среднем ремонте.

Неравномерный износ поверхностей З (рис. 1.4) нарушает посадку втулок и создает дополнительные условия для кавитационных разрушений этих поверхностей и наружной части втулок цилиндров.



а



б

Рис. 1.4. Износ базовых деталей: а – блок цилиндров; б – фундаментная рама.

Несоосность и износ поверхностей И нарушает нормальное зацепление передаточных шестерен, а также посадку подшипников и вызывает необходимость производить их индивидуальную подгонку.

Несоосность поверхностей Б создает перекосы и вызывает повышенный износ деталей валовой группы, а их некруглость не позволяет обеспечить надежную посадку вкладышей, уменьшает площадь прилегания, нарушает условия

теплоотвода, вызывает микроперемещения вкладыша относительно постели и приводит к преждевременному разрушению антифрикционного слоя.

Непараллельность общей оси поверхностей Б относительно плоскости А вызывает перекос деталей движения и нарушает условия работы передаточных шестерен, вызывая их отказы.

Наличие зазоров S между поверхностями В и Г приводит в отдельных случаях к перекосам и смещению крышек подшипников, вызывая нарушение условий смазки подшипникового узла.

Двигатели внутреннего сгорания конструктивно и технологически являются достаточно сложными, а по некоторым узлам и соединениям высокоточными механизмами. Поэтому на многие детали ответственных сопряжений назначаются высокие классы чистоты поверхности, жесткие допуски на линейные размеры, геометрическую форму и взаимное расположение поверхностей. В процессе сборки особое значение здесь приобретает соблюдение требуемого пространственного положения осей подшипников коленчатого и распределительного валов, осей втулок цилиндров, а также обеспечение заданной геометрической формулы указанных поверхностей.

Все перечисленные геометрические параметры существенно зависят от состояния сопряженных поверхностей разъемов блоков цилиндров и фундаментных рам. При наличии неплоскостности указанных поверхностей в процессе сборки между ними образуются зазоры, которые условно можно разделить на продольные и поперечные, т.е. измеряемые в том или ином элементарном сечении, соответственно ориентированном относительно оси коленчатого вала. Необходимость такого разделения зазоров объясняется качественно различным их влиянием на искажения при сборке геометрических параметров базовых поверхностей деталей остова и в первую очередь подшипников коленчатого вала. В том случае, если имеют место только продольные зазоры, основные искажения сводятся к образованию непрямолинейности осей коренных подшипников и коленчатого вала. Влияние зазоров в поперечном направлении проявляется в появлении помимо указанных погрешностей дополнительных деформаций постелей вследствие перераспределения напряжений в поперечной секции рамы и особенно в районе

подшипникового узла. Эти деформации приводят к заметному нарушению посадок вкладышей коренных подшипников.

При устранении зазоров, образовавшихся непосредственно на площадках, воспринимающих усилия от затяжки силовых связей, происходят существенные перемещения подшипников распределительных валов.

Наблюдаются также перекосы и изменения геометрической формы ци-линдровых втулок, поворот торцевых поверхностей блоков цилиндров под передаточные шестерни привода газораспределения и другие погрешности сборки.

1.4 Изменение геометрических параметров базовых поверхностей деталей остова двигателя

На протяжении всего периода эксплуатации двигателей происходит непрерывная трансформация его деталей и элементов под влиянием статических и динамических нагрузок, вибрации, перемещения и изнашивания, процессов релаксации и т.д. Под трансформацией поверхностей здесь понимается результат воздействия всего комплекса механических, физических и физико-химических процессов, неизбежно происходящих на поверхностях деталей работающего механизма. В результате такого воздействия изнашиваются не только детали подвижных соединений, но и базовые поверхности деталей остова. Базовыми поверхностями являются (рис.1.4):

- плоскости разъемов А и Е;
- поверхности Ж под втулки цилиндров;
- посадочные пояса З под втулки цилиндров;
- расточки И под подшипники распределительного вала.

К базовым поверхностям фундаментных рам относятся (рис. 1.4, б)):

- плоскости разъема А;
- расточки под коренные подшипники Б;
- посадочные поверхности В под крышки коренных подшипников.

Эти поверхности принято называть базовыми как в обычном понимании технолога, так и по тому важному значению, которое они оказывают на нормальную эксплуатацию двигателей.

Изменения геометрических параметров базовых поверхностей блоков цилиндров представлены в таблице 1.2.

1.5 Статистические данные изменение размеров и формы и взаимного расположения поверхностей базовых деталей.

На рис. 1.5 и 1.6 представлены кривые распределения изменения размеров и формы посадочных поясов под втулки цилиндров двигателей 6ЧСП 18/22. Для этой же марки двигателя, на рис. 1.7 даны кривые распределения величины вертикальной несоосности расточек под вкладыши коренных подшипников, а на рис. 1.8 представлено распределение изменения формы этих поверхностей для двигателя 6ЧСП 18/22. Кривые распределения износа остальных базовых поверхностей имеют аналогичный характер.

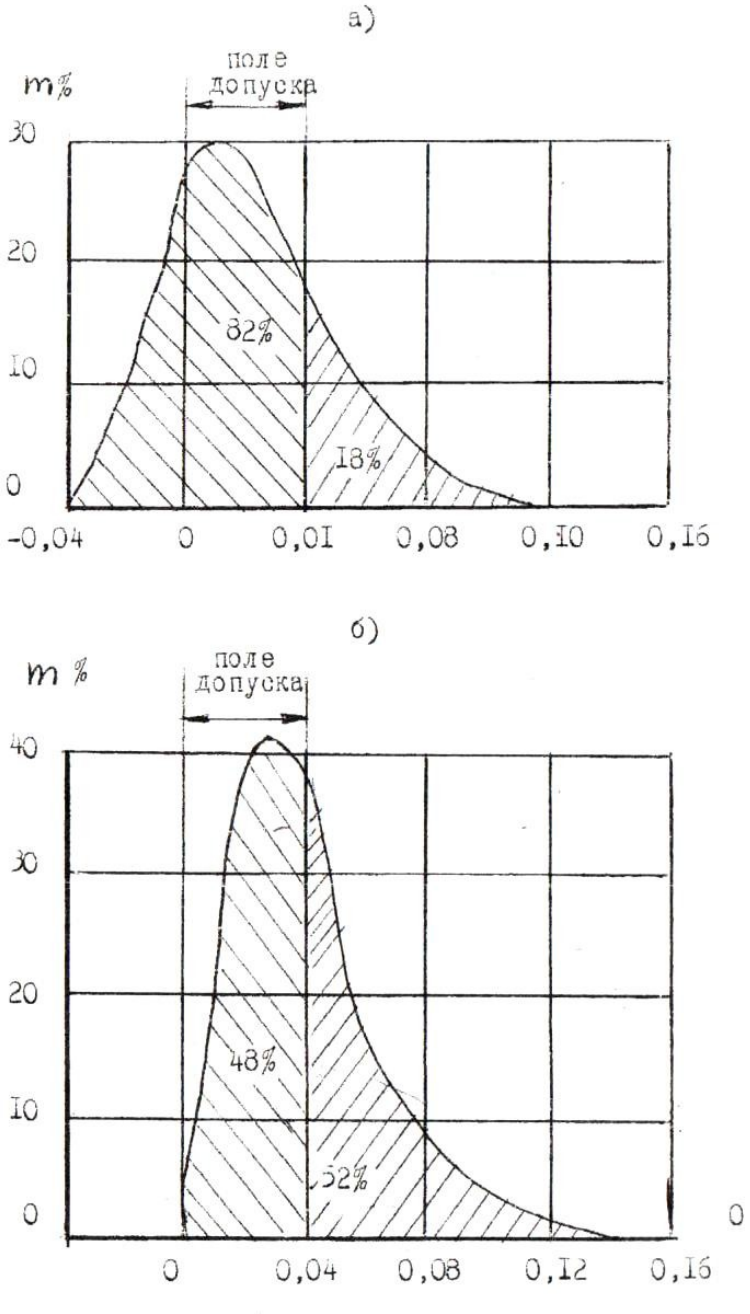


Рис. 1.5. Распределение изменения размеров ΔD и формы 0 посадочных поясов блоков цилиндров двигателей:

а – изменение размеров ΔD; б – изменение формы 0

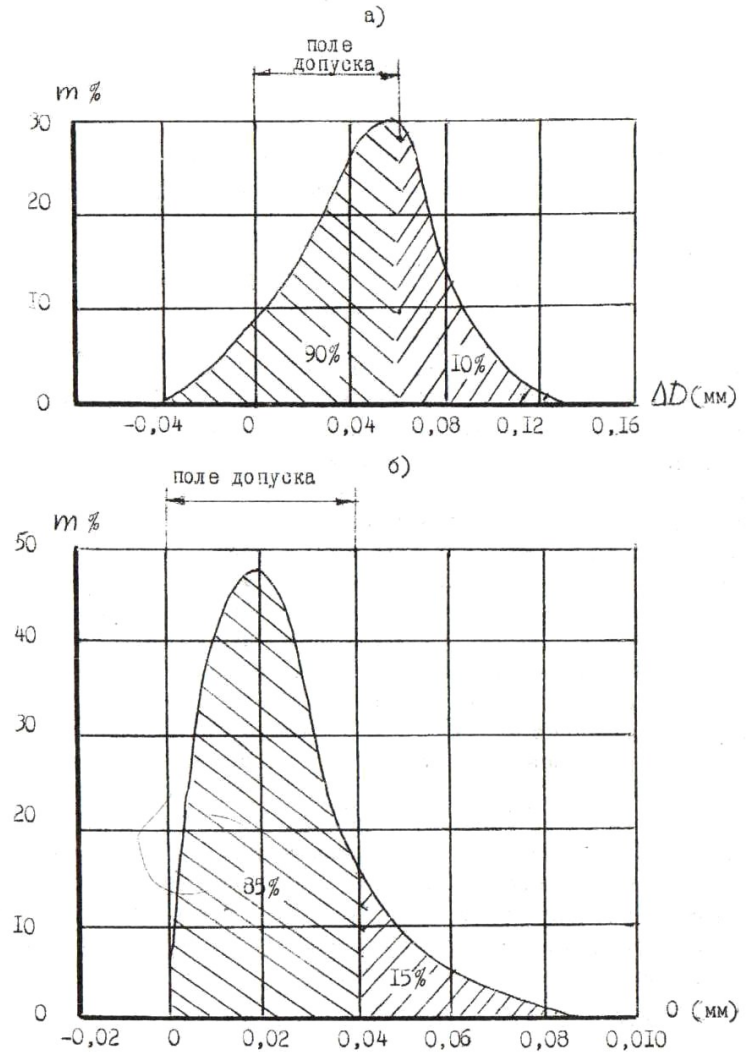


Рис. 1.6. Распределения размеров ΔD и формы 0 посадочных поясов блоков цилиндров двигателей: а – изменение размеров ΔD; б – изменение формы 0

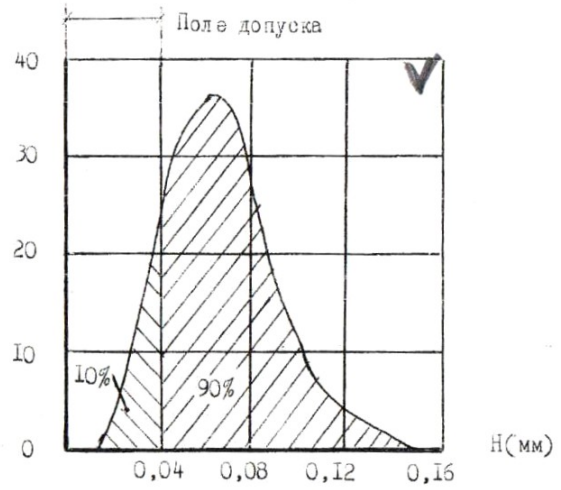


Рис. 1.7. Распределение вертикальной несоосности расточек под вкладыши коренных подшипников фундаментных рам двигателя 6ЧСП18/22

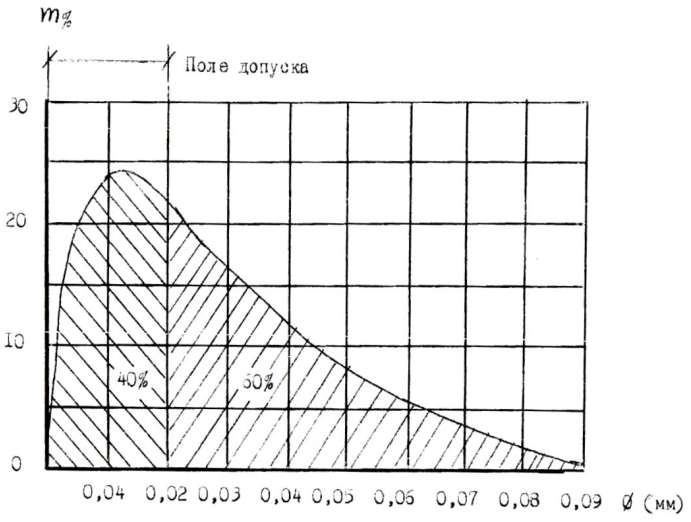


Рис. 5 Распределение нарушения формы расточек под вкладыши коренных подшипников фундаментных рам двигателя 6ЧСП 18/22

2. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Восстановление деталей механического оборудования при ремонте служит для устранения износов и дефектов, полученных в эксплуатационный период, и погрешностей, образовавшихся при ремонтных воздействиях. В результате восстановления основным поверхностям трения, сопряжениям и т.п. возвращают первоначальные или промежуточные (ремонтные) параметры, физико-механические свойства, взаимную ориентацию баз и т.д. Нередко, этап восстановления используют в целях упрочнения поверхностей деталей для повышения износостойкости пар трения.

В теории ремонта механического оборудования при комплексном восстановлении деталей для выбора способов восстановления применяют критериальный подход. При этом подходе все способы восстановления оценивают по трем следующим критериям: применимости Кп, долговечности Кд, и технико-экономической целесообразности Кз.

Критерий применимости определяет практическую доступность к использованию конкретных производственных условиях того или иного

метода восстановления. Очевидно, что количество оценить значения критерия применимости трудно, а логически он зависит от материала детали, ее габаритных размеров, формы, технологических особенностей процесса, наличия оборудования, подготовленности производства и т. п.

Критерий долговечности отображает качественную сторону восстановительного процесса и позволяет сопоставить результаты восстановления деталей разными способами по коэффициентам износостойкости, выносливости, сцепляемости и т.д. Основная задача ремонтного производства состоит в том, чтобы обеспечить ресурс отремонтированной техники не менее на 70% ресурса новых машин. Это означает, что коэффициент долговечности должен быть равным или больше 0,7.

Критерий технико-экономический эффективности служит для оценки экономичности ремонта сборочных единиц по показателям производительности и себестоимости способов ремонта.

Совместное удовлетворение конкретного способа восстановления всем критериям приводит к оптимальному решению. В условиях действующего ремонтного производства обычно превалирует выбор восстановительных процессов по критерию применимости, особенно в тех случаях, когда восстановление деталей ведут наращиванием металла гальваническими или другими способами.

Все восстановительные процессы, используемые в ремонтной практике, разделяют на три группы:

- восстановление механической обработкой,
- наращиванием металла.
- пластические деформирования.

На практике предпочтение отдают тому или иному методу на основании анализа износов деталей и возможностей производства.

2.1. Восстановление механической обработкой

Сущность метода ремонта деталей механической обработкой состоит в восстановлении конструкторских и технологических баз деталей путем дополнительной обработки поверхностей без нанесения каких-либо покрытий. Обычно рассматривают две разновидности ремонта механической обработкой - ремонт детали на «годность» и по системе ремонтных размеров.

В первом случае ремонтируемую деталь обрабатывают только до удаления, на базах макро- и микродефектов. При этом основная задача состоит в том, чтобы удовлетворить минимальные требования по точности формы, размеров, взаимному расположению и шероховатости поверхностей. Такой подход отличается наименьшими затратами на проведение ремонтных работ.

Ремонт деталей механической обработкой по системе ремонтных размеров теоретически базируется на результатах обработки представительного статистического материала по износам деталей. Его основу составляет система ремонтных

размеров. Эта система нормативно устанавливает новые номинальные размеры и предельные отклонения основных поверхностей деталей. Обеспечение точности ремонтных размеров позволяет получить требуемое качество отремонтированных деталей в течение заданного срока службы сборочной единицы.

По этой системе для каждой детали предусматривают один или несколько ремонтных размеров, обязательно сопряженных с размерами

соответствующей детали сборочной единицы. Количество ремонтных размеров определяют по специальным методикам. Чаще всего основным критерием, ограничивающим число ремонтных размеров, является предельное состояние детали.

Механическую обработку (точение, шлифование, фрезерование и строгание) применяют для восстановления первоначальной геометрии и чистоты рабочих поверхностей трения деталей при наличии у них достаточной прочности.

С помощью механической обработки устраняют эллиптичность, конусность и бочкообразность рабочих шеек валов и цилиндровых втулок, задиры и коррозионные поражения на штоках и валах и.т.д.

Величина слоя снимаемого металла при восстановлении геометрии рабочих поверхностей трения механической обработкой определяется величиной выработки или глубиной коррозионного поражения.

Механические методы (обкатывание, дробеструйную обработку и др.) используют также для восстановления и улучшения механических свойств деталей.

2.2. Восстановление деталей металлизацией и напылением

Металлизация поверхностей деталей может быть осуществлена двумя способами: испарением – конденсацией в вакууме и газотермическим способом в атмосфере. Первый применяется для нанесения очень тонких пленок в основном в радиоэлектронике, второй – в машиностроении и на транспорте при восстановлении и нанесении защитных слоев на детали машин и механизмов.

Главное отличие процесса напыления от наплавки заключается в том, что источники нагрева и расплавления напыляемого металла находятся на некотором удалении от детали и не расплавляют ее поверхность. Вследствие этого их тепловое; воздействие оказывается значительно меньше, не происходит возникновение видимых остаточных деформаций детали, не возникает структурных изменений поверхности металла, хотя, как правило, наблюдается снижение усталостного сопротивления.

Восстановление деталей при ремонте металлизацией напылением предусматривает предварительное расплавление исходного (присадочного) материала в виде металлической проволоки или порошка и последующее распыление его струей воздуха или инертного газа. Встречаясь с относительно холодной поверхностью детали или уже с напыленным на нее слоем, жидкий металл кристаллизуется. Основными процессами напыления являются расплавление частиц и их разгон.

Структура напыленного слоя имеет слоистое строение со значительным количеством несплошностей между частицами и слоями, окисленные границы, остаточные напряжения.

В зависимости от способа распыления металла различают газовую, электродуговую и плазменную металлизацию напылением/

Наиболее распространенным в судоремонте является газопламенное напыление порошковых материалов. Основу таких материалов, как правило, составляет никель.

Различают следующие три разновидности газопламенного напыления:

- газопламенное напыление без последующего оплавления;

- газопламенное напыление с одновременным оплавлением;

- газопламенное напыление с последующим оплавлением.

В первом случае получают износостойкие покрытия с невысокой адгезией и пористой структурой. -

Газопламенное напыление с одновременным, оплавлением формирует, покрытия с твердостью до HRC55-60, хорошими износостойкими и коррозионностойкими свойствами при высоких физико-механических характеристиках. Покрытия отличаются отсутствием пористости. Благодаря этим свойствам и характеристикам покрытий такие технологические процессы проектируют для восстановления деталей, работающих при значительных динамических нагрузках в агрессивных средах при повышенных температурах. Газопламенное напыление с последующим оплавлением по своим физико-механическим свойствам практически не отличаются от покрытий с одновременным оплавлением.

Другим перспективным и современным способом восстановления деталей машин является плазменное напыление металла. При плазменной металлизации в качестве источника нагрева используют струю концентрированного в дуговом разряде газа. Эта струя приобретает высокую ионизацию, и большой запас энергии в результате сильного обжатия при пропускании ее под давлением через узкий канал.

Плазменным напылением можно создавать покрытия самого различного значения, а именно: защитные без последующей механической обработки, коррозионостойкие и антифрикционные с последующей механической обработкой, износостойкие с последующим оплавлением и механической обработкой.

В качестве исходных материалов для нанесения плазменных покрытий используют проволоки из алюминия и алюминиевых сплавов, молибдена, нержавеющих и легированных сталей, а также сложнолегированные порошки.

Качество плазменных покрытий и адгезия с основным металлом зависит от их толщины. Поэтому проектированию технологических процессов плазменного напыления предшествует анализ фактических износов деталей.

Улучшению адгезии покрытий с металлом способствует оплавление напыленного слоя с помощью ацетиленокислородных горелок. Однако эти процессы

оплавления пригодны только для тех поверхностей, к которым не предъявляются высокие требования по точности и шероховатости.

Технико-экономические показатели процесса и экплуатационно-технологические свойства покрытий при плазменных процессах восстановления деталей существенно выше, чем при других методах ремонта наращивания металла. В результате получают большую экономию дефицитных основных и присадочных материалов. Практически неограниченные возможности плазменных покрытий с наперед заданными свойствами позволяют использовать плазменную металлизацию одновременно и как процесс повышения износостойкости деталей.

2.3. Восстановление гальванопластикой

Одним из способов восстановления деталей является электролитическое наращивание металлов. Например, железнение, хромирование, анодное оксидирование и др. Применение металлопокрытий при восстановлении изношенных деталей позволяет повысить их износостойкость и долговечность. Кроме того, это дает возможность получить покрытия с различной твердостью, создавать покрытия требуемой толщины.

Железнение – получение электролитических железных покрытий путем электролиза водного раствора хлористого железа или железного купороса применяют для повышения износостойкости и восстановления размеров деталей.

Под воздействием тока ионы железа, находящиеся в растворе, передвигаются к катоду (деталь), где они теряют свой заряд и покрывают деталь слоем электролитического железа. Анод при этом растворяется в электролите и пополняет его своими ионами взамен израсходованных. Растворяемые аноды изготавливают из малоуглеродистой стали.

К недостаткам процесса железнения следует отнести:

- некоторую сложность получения осадков железа толщиной более 1,5мм;

- снижение усталостной прочности вследствие возникновения растягивающих напряжений в покрытии при его формировании в ванне железнения.

Железнению могут быть подвергнуты гнезда подшипников фундаментных рам и шатунов, цилиндровые втулки, поршни, шейки валов и др.

Электролитическое хромирование применяется для восстановления и упрочнения изношенных деталей и с декоративной целью. Нанесение электролитического хрома имеют большое распространение в ремонтной практике. Объясняется это следующими ценными качествами хромового осадка: по твердости он превосходит большинство металлических осадков; имеет высокую износостойкость от истирания; устойчив в отношении химических воздействий и влияния высоких температур.

Катодом, как и в процессе железнения, служит покрываемое изделие, а в качестве анода используют свинцовые пластины. Электролитом является водный

раствор хромового ангидрида. Износостойкость хромированных деталей истиранию повышается в 2-3 раза по отношению к стали. Усталостная прочность углеродистых сталей снижается в результате хромирования в среднем на 25-40%

В судоремонте хромированию чаще всего подвергают шейки валов, цилиндровые втулки, поршневые пальцы и другие детали, которые перед хромированием подвергают механической обработке.

Анодирование применяют для повышения износостойкости и восстановления размеров деталей, изготовленных из алюминиевых сплавов.

В процессе анодирования деталь является анодом, а в качестве катода используют свинцовые пластины. Электролитом является водный раствор серной кислоты. Под действием тока происходит разложение воды на кислород и водород. Кислород отправляется на анод, который окисляет поверхность.

В зависимости от режима процесса можно получать покрытия до 0,2мм. С твердостью до 300-350 НВ. Кроме того покрытие получается пористым, что позволяет повышать маслоудерживающую способность. Температура покрытия составляет 1700 градусов, что позволяет исключить задиры и заклинивания поршня в цилиндре.

В судоремонте процесс анодирования применяется для поршней и деталей из алюминиевых сплавов.

2.4. Восстановление полимерными покрытиями.

Из ряда полимерных материалов широкое применение для ремонта деталей механизмов нашли эпаксидные компаунды. Эпоксидные компаунды – это составы, включающие в себя эпоксидную смолу, отвердитель, пластификатор и наполнитель. Они могут быть использованы в качестве клеев для соединения различных материалов в любых сочетаниях друг с другом, шпаклевочных масс для устранения размерных износов, раковин, трещин, а также защитных покрытий для предохранения судовых конструкций от воздействия различных агрессивных сред и т.д.

Хорошая адгезия (сцепление) эпоксидных составов с различными Материалами объясняется механическим сцеплением, адсорбцией, химическим и молекулярным взаимодействием.

В зависимости от температуры полимеризации различают компаунды холодного (температура 18–25°С) и горячего (130-200°С) отверждения.

Основным компонентом эпоксидных композиций является смола ЭД-5 или ЭД-6.

В качестве отвердителей при комнатной температуре применяют аминовые соединения – полиэтиленполиамин, гексаметиленамин.

При горячем отверждении для полимеризации смолы в нее добавляют малеиновый или фталевый ангидрид.

Двухкомпонентный состав является хрупким соединением, поэтому для повышения пластичности в него вводят пластификаторы, например, дибутилфталат.

Для повышения физико-химических свойств состава, уменьшения его стоимости, увеличения прочности сцепления с деталью в компаунд добавляют различного рода наполнители.

В качестве наполнителей используются измельченные минеральные и металлические порошки, портландцемент, фарфоровая мука, графит, кварцевый песок, алюминиевая и бронзовая пудра. При определенных условиях также могут быть использованы волокнистые материалы: стеклянное волокно, асбест и др.

Недостатком эпоксидных составов является их невысокая теплостойкость. При температуре 360-400°С эпоксидная смола разлагается. Адгезия к металлу падает при повышении температуры выше 100°С.

Эпоксидный состав вследствие экзотермического эффекта при полимеризации смолы сохраняет свою жизнеспособность при температуре 20°С в течение 45-60 мин., с повышением температуры она резко падает.

Приготовление компаунда холодного отверждения состава:

- эпоксидная смола – 100 вес, частей;

- пластификатор-дибутилфталат – 29 в.ч.;

- отвердителъ-полиэтиленполиамин – 7-9 в.ч.;

- наполнитель-алюминиевая пудра– 150 в.ч. производится в следующем порядке.

В смолу, разогретую до 50-60°С вводят пластификатор, тщательно перемешивая состав в течение 4-5 мин. Затем вводят туда наполнители и тщательно перемешивают полученную массу. Отвердитель вводят непосредственно перед использованием эпоксидного компаунда.

Подготовка детали состоит в тщательной ее очистке и обезжиривании.

Окончательный процесс полимеризации эпоксидного состава завершается через 24 часа.

Эпоксидные компаунды обладают относительно высокой вязкое поэтому с их помощью можно устранять крупные трещины с обязательной их разделкой.

Для герметизации и уплотнения тонких трещин рекомендуется использовать анаэробные составы. Анаэробные герметики представляют собой жидкости различной вязкости, способные длительное время оставаться в исходном состоянии без изменения свойств и быстро отверждаться в узких зазорах при t = 15-35°Спри нарушении контакта с кислородом воздуха с образованием прочного полимерного слоя.

Для ремонта деталей судовых механизмов рекомендуются четыре марки анаэробных составов: Унигерм 9 (Уг-9), Анатерм 17М (Ан17М), Анатерм IV(Ан-1У), Анатерм 6 (Ан-6).

Анаэробные герметики обладают следующими свойствами:

- высокой адгезией к материалам;

- химической стойкостью после отвердения к кислотам, щелочам, маслам и топливам;

- способностью затекать в малые зазоры (Уг-9 до 0,3 мм, Ан-17М до 0,4 мм, Ан-IYДО 0,07 мм и Ан-6 до 0,6 мм);

- широким температурным диапазоном работоспособности – от -60°С до +150°С;

- высокими уплотнительными и герметизирующими свойствами – способностью выдерживать давление газов до 30-40 МПа, жидкостей – до 60 МПа.

Несмотря на такие свойства герметиков ремонт трещин анаэробными составами допускается для одиночных трещин, расположенных в ненагруженных местах деталей и не нарушающих их общую прочность.

Ремонт трещин на нагруженных поверхностях деталей рекомендуется производить заваркой с последующей герметизацией сварных швов анаэробным герметиком, например, Ан-IY. Причем операцию нанесения герметика в этом случае повторяют 2-3 раза через 15-20 мин.

При ремонте трещин непосредственно анаэробными составами поверхность детали тщательно очищают и обезжиривают ацетоном или бензином. Далее для трещин раскрытием до 0,07 наносят 2-3 раза через 15-20 мин. герметик Анатерм-IY. Для трещин шириной до 0,3 мм после герметика Анатерм-IYнаносят герметик Унигерм-9, удаляют излишки его хлопчатобумажной ветошью и закрывают трещину накладкой из липкой ленты или пластилина. После полимеризации герметика накладку удаляют.

Время отверждения анаэробного состава зависит от материала, для ремонта которого он используется. По этому признаку все материалы делятся на 3 группы;

- активные – медь и сплавы медиконтакт с ними ускоряет полимеризацию состава, и процесс длится минуты;

- нормальные – железо, углеродистые стали, чугуны, цинк – процесс полимеризации длится 8 – 24 часа;

- пассивные – высоколегированные стали, алюминий и его сплавы, материалы с антикоррозионными покрытиями, пластмассы – процесс длится сутками.

Наряду с ремонтом трещин анаэробные составы могут быть использованы для заделки коррозионных раковин и отверстий в деталях. Для цели применяются полимерно-металлические композиции на основе герметика Унигерм-9 с наполнителями: порошок железный ПЖВ1 -ПЖ11 пудра бронзовая или алюминиевая, чугунная мелкодробленная стружка.

Анаэробные герметики могут быть использованы также для восстановления посадок с натягом подшипников качения, втулок в зависимости от величины зазора – герметиками Ан-IY, Уг-9; стопорения, герметизации и уплотнения резьбовых соединений разборных Ан-17М, неразборных – Уг-9; герметизации плоскостей

разъемов Ан-17М; восстановления герметичности соединения труб и трубных досок.

3. Разработка технологических процессов, оснастки и приспособлений для реализации технологии восстанавления базовых деталей

3.1 Технологический процесс механической обработки

005. Слесарная

Съемник универсальный; отвертка; зубило; молоток Демонтаж заглушек, трубок подводамасла.

010. Мойка, очистка погружением Установка моечная; электротельфер Лабомид-315

1. Подготовить детали к очистке и погрузить в ванну;

2. Произвести мойку и, очистку (Т = 80 - 100°);

3. Произвести струйную очистку чистой водопроводной водой;

4. Выгрузить вал и продуть сжатым воздухом;

Время выдержки в растворе 6-10 часов;

015. Сушка Сушильный шкаф, электротельфер, поддон цеховый;

1. Загрузит в шкаф;

2. Сушить деталь (Т = 60 - 1002);

3. Выгрузить деталь и охладить до температуры цеха;

4. Контроль;

020. Дефектация

Технические требования на дефектацию и ремонт.

Контрольная плита, электротельфер, штангенциркуль ШЦ, микрометр МК. концевые мерыдлины 5 разряда, призмы.

1. Произвести визуальный обмер шейки вала на наличие сколов, трещин, забоин,задиров;

2. Произвести обмеры шейки вала и занести их в карту дефектации;

Проверить соответствие детали ТУ на дефектацию и ремонт;

025. Магнитный контроль

Магнитный дефектоскоп УМДЭ-10000, электротельфер, деомагнит. Магнитная эмульсия.

1. Поверить вал на магнитном дефектоскопе на отсутствие трещин

в режимекомбинированного намагничивания в приложенном поле;

2. Размагнитить деталь после

проверки на магнитном дефектосопе.

030. Консервация

Установка консервации, бак с растворителем, бак с консервирующей смазкой.

Технический вазелин; Уайт-спирит, бумага парафинированная. Внимание! Операциявыполняется при хранении детали более суток до последующей операции.

1. Промыть вал органическим растворителем;

2. Нанести на поверхность детали масло при 40-50°С;

3. Завернуть вал в парафинированную бумагу.

035. Повторить опер. 010

040. Повторить опер. 015

045. Шлифовальная

Станки круглошлифовальные моделиХШ2-07Н2, ХШ-335Н16, 3А428Н025 Кругишлифовальные ПП900х305, ПП900х70х305 24А25-16 СТ1-СТ-2-2К5

Центросместители (левый и правый) карандаш алмазный; эталон шероховатости Ra = 0,63

Микрометр МК; индикатор ИЧ10 кл.1; стойка индикторная. 5%-ая эмульсия марки Э-2(Б);

вода; сода кальцинированная техническая сорт1

Внимание! При износе отдельных шеек и сохранении нормальных илиремонтныхразмеров соседними шейками шлифованию подвергать толькодефектные шейки «как чисто», но не меньше предельно допустимого размера.

050. Повторить опер.025

055. Контрольная (ОТК)

Эталон чистоты Ra - 063 (шлифование), скоба рычажная СР; стойка индикаторная;индикатор ИЧ кл.1; плита поверочная; призмы, шаблоны радиусные. Внимание! Детали передоперацией очистить от технических загрязнений.

1. Проверить внешним осмотром чистоту обработки, отсутствие забоин,вмятин изаусенцев;

2. Измерить диаметры шеек и занести в карту обмеров;

3. Проверить вал на соответствие шеек ТУ на дефектацию и ремонт.

060. Консервация (опер.030)

Внимание! Операция выполняется при сроке хранения детали более 5 часов.-После выполнения операции перед операцией 065 повторить операции 010 и 015.

065. Хромирование

Гальванический цех, линия хромирования, источник постоянного тока, электротельфер, кислотостойкий насос, оснастка проточного хромирования

070. Термообработка

Электропечь (ванна масляная с электроподогревом), электротельфер. Маслос высокой температурой вспышки 180-200°С. 3 часа выдержки. Внимание! Операция производит не позже

чем через 24 часа после хромирования.

1. Загрузить вал в печь (ванну);

2. Выдержать 3 часа;

3. Выгрузить и охладить до температуры цеха;

4. Контроль.

075. Повторить опер. 030

При сроке хранения более 5 часов после операции 70.

080. Шлифовальная

Станки круглошлифовальные моделиХШ2-07Н2, ХШ-335Н16, 3А428Н025 Кругишлифовальные ПП900х305,’ПП900х70х305 24А25-16 СТ1-СТ-2-2К5

Центросместители (левый и правый) карандаш алмазный; эталон шероховатости Ra = 0,63

Микрометр МК; индикатор ИЧЮ кл.1; стойка индикторная. 5%-ая эмульсия марки Э-2(Б);вода; сода кальцинированная техническая сорт I.

1. Шлифовать коренные шейки до размера; полировать шейки и переход от галтели кповерхности с хромовым покрытием;

2. Шлифовать шатунную шейку в размер; полировать шейки переход галтели к хромовомупокрытию;

3. Контролировать на соответствие техническим требованиям;

085. Слесарная

Стол контрольный, электротельфер, бакс растворителем. Ветошь, воздух,Уайт-спирит.

1. Скруглить острые кромки маслоподводяшего отверстия и заполировать;

2. Промыть органическим растворителем, протереть ветошью, продуть сжатым воздухом.

090. Контрольная Контрольный стол, электротельфер.

Эталон чистоты Rf = 0,16 (шлифование). Скоба рычажная СР; индикаторИЧЮ кл.1;

шаблоны радиусные; призмы; стойка магнитная; штангенрейс-мус; плита поверочная.

1. Проверить внешним осмотром соответствие шейки вала техническим требованиям повнешнему виду и чистоте поверхности, наличие радиусов и клейма поверки на магнитномдефектоскопе, отсутствие сколов хрома, трещин, вмятин, забоин, острыхкромок изаусенцев;

2. Проверить линейные размеры и данные обмеров занести в паспорт вала;

3. Проверить соответствие вала техническим требованиям;

4. Клеймить клеймом поверки.

095. Консервация

Установка консервационная; бак с растворителем.

Масло консервационное К-17. подогретое до 40°С; бумага парафинированная - марки БП-Б-35.

Внимание! Поверхность шейки вала с хромовым покрытием предостеречь от ударов.

1. Нанести на поверхность вала масло погружением или кистью, дать стечь избытку масла;

2. Завернуть шейку вала в парафинированную бумагу в один слой.

3.2 Технологический процесс плазменного напыления

1) Мойка деталей струйным способом подачей моющего водного раствора с температурой 348 - 358К под давлением 490 КПа. В состав моющего раствора входят:

- Каустическая сода- 1,0 %
- Кальцинированная сода - 7,5
- Тринатрий фосфат - 1,3 %
- Хозяйственное мыло - 0,2 %

Продолжительность процесса 10-15 мин. После очистки и обезжиривания деталь промывается горячей водой и просушивается на воздухе;

2) дефектация базовых поверхностей фундаментных рам и блоков цилиндров. Контроль неплоскостности производится при помощи оптического плоскомера ИС - 45М, который позволяет производить дискретные изменения в заданном количестве отдельных участков плоскости разъёма. По результатам измерений с учётом припуска на механическую обработку определяется толщина слоя наносимого металла;

3) предварительной подготовке восстанавливаемой поверхности, заключающейся в последовательном проведении пескоструйной обработки, обдувки сжатым воздухом и тщательной очистки жесткой волосяной кисти, смоченной в ацетоне. Перед пескоструйной обработкой специальными экранами предохраняются те поверхности, на которые попадание песка, а при напылении – расплавленного металла, недопустимо (расточки гнёзд, под вкладыши подшипников, шпильки и т. д.).

Пескоструйная обработка осуществляется карбидом кремния, марки 54С ГОСТ 3647 - 71 зернистостью 160 при давлении воздуха 0,35 - 0,40 МПа, при дистанции обработки 0,1 м, диаметр сопла пескоструйного аппарата $7,0*10^{-3}$м. Необходимое количество песка определяется из расчета 600 кг песка на 1 $м^2$ поверхности. Время после предварительной подготовки восстанавливаемой поверхности до её напыления не должно превышать 30-60 мин.

После пескоструйной обработки для проведения контроля толщины наращиваемого слоя металла в процессе напыления производится измерение размеров с точностью ±0,05 мм в 5-7 точках, расположенных равномерно по длине напыляемой поверхности. Результаты измерений заносятся в технологическую карту и в процессе напыления по ним производится контроль толщины покрытия;

4) напыление восстанавливаемых поверхностей на установке УПУ -

3 проволокой Св - 08Г2С ГОСТ 2246 - 70:

- Напряжение холостого хода - 90 В;

-Напряжение на дуге - 28 - 29 В;

- Расход аргона - 7,5* 10^{-4} $м^3$/с;

- Скорость подачи проволоки - 3,73*10^{-2} м/с;

- Скорость перемещения горелки относительно детали - 0,4 м/с;

- Дистанция напыления - 0,1 м

Напыление восстанавливаемых поверхностей производится занесколько последовательных проходов;

5) механической обработке плоскостей разъёма на строгальном станке модели 7212. Обрабатываемая деталь выставляется и закрепляется на жестком стенде, установленном на столе станка. Для обработки используется проходной резец, оснащенный пластинкой из твёрдого сплава ВК 6М. строгание производится за два прохода инструмента. Один проход черновой, при котором глубина резания устанавливается такой, чтобы удалить неровности, и второй проход чистовой. Режим обработки:

- При черновом строгании, глубина резания 0,4 – 0,5 мм, подача 0,5 мм на 1 двойной ход стола, скорость резания 12 м/мин.

- При чистовой обработке, глубина резания 0,1 мм, подача 0,25 мм на 1 двойной ход стола, скорость резания 6 м/мин.

Геометрические характеристики резца:

- *S*Главный угол в плане ф=60°;

- Угол при вершине резца ε = 90°

- Главный задний угол α = 10°

- Передний угол γ= 15°

- Радиус закругления вершины резца r = 2.5 мм

6) контролю качества восстанавливаемой детали визуальным осмотром обратной поверхности на отсутствие сколов и отслоений напыленного слоя, проверкой неплоскостности обрабатываемой поверхности и её шероховатости. Проверка неплоскостности определяется оптическим плоскомером ИС – 45М. для фундаментной рамы она не должна превышать 0,05 мм на длине 1000 мм. Шероховатость поверхности Ra<2.5 мкм.

Контроль качества осуществляется ОТК в присутствии инспектора Речного Регистра РФ. В состав оборудования для восстановления указанных деталей входят:

1) универсальная плазменная установка УПУ - 3 (или её модификации), предназначенная для нанесения покрытии на поверхности деталей методом плазменного напыления в виде проволок и состоящая из:

- Источника питания ИПН - 160/600 - Щ;
- Шкафа управления;
- Плазменной головки.

Головка имеет в своём составе: плазмотрон для напыления проволочных материалов ГН - 5М, оснащённый медным водоохлождаемым соплом с гладким по всей длине каналом $d=4,5*l0^{-3}$ м и механизмом подачи проволоки.

2) устройство для пескоструйной обработки, состоящее из:

- Пескоструйного аппарата:
- Герметичной камеры.

Камера оборудована вытяжной вентиляцией и устройством для закрепления детали и её кантования для ссыпания абразивного материала изх постелей детали после обработки. Камера имеет габариты, соответствующие габаритам обрабатываемых деталей.

3) камера для нанесения покрытий плазменным напылением оснащена, устройством для закрепления и перемещения плазменной головки по программе, обеспечивающей равномерное покрытие на восстанавливаемой поверхности в автоматическом (полуавтоматическом) режиме, и смотровыми окнами с защитными стёклами для контроля за процессом напыления.

4) специальные жёсткие стенды для дефектации деталей и механической обработки восстанавливаемых поверхностей после нанесения на них покрытия.

5) двухстоечный продольно-строгальный станок модели 7212, позволяющий производить механическую обработку плоских базовых поверхностей крупногабаритных деталей остова судовых дизелей.

005. Контрольная

Контрольный стол.

1. Произвести визуальный осмотр поверхности шеек вала, подлежащих хромированию;

2. Проверить соответствие шеек вала техническим требованиям на хромирование

010. Слесарная

Стол монтажный; молоток, бак с органическим растворителем Свинецлистовой, органический растворитель, шкурка шлифовальная, ветошь.

1. Зачистить поверхность шейки вала шкуркой;

2. Заглушить отверстие маслоподводящего канала шейки вала свинцовой пробкой (выступание пробки над плоскостью шейки вала 1-2 мм; края пробки скруглить);

3. Скруглить и заполировать острые кромки маслоподводящего отверстия;

4. Промыть растворителем и протереть ветошь.

015. Химическое обезжиривание

Бак с органическим растворителем; бакс венской известью. Кисть молярнаяволосяная; шланг Уайт-спирит; венская известь; ветошь.

1. Промыть растворителем и обтереть насухо ветошью;

2. Протереть шейки вала известью, с промежуточной промывкой водой.

020. Монтажная Стол монтажный; электротельфер.

Устройство проточного хромирования, насос погружной кислотостойкий шланг; гибкие токоподводы, Ветошь; сжатый воздух.

1. Зачистить рабочую и токоподводящую поверхности анодов и токоподводов;

2. Промыть водой и обтереть ветошью, продуть воздухом;

3. Смонтировать ячейку-электролизер на шейку вала;

4. Подсоединить к штуцерам напорный и сливной шланги;

Проверить герметичность ячейки подачей воды или воздуха через напорный шланг, перекрывая сливные штуцера;

Установить вал на изолированные опоры, установленные на верхнюю плоскость ванны;

Подсоединить и закрепить шланги от насоса к напорному и сливным штуцерам;

Подсоединить и закрепить токоподводы анода к ячейке и катода к валу;

9. Установит защитные экраны от возможных брызг электролита.

025. Хромирование

Ванна хромирования; электротельфер; источник питания.

Электролит хромирования состава: хромовый ангидрид - 250г/л; серная кислота(аккумуляторная) - 2,5г/л; вода дистиллированная.

Внимание! Электролит хромирования к началу операции 20 должен быть отфильтрован и нагрет до температуры на два три градуса выше рабочей температуры хромирования.

Включить насос и прогреть вал до температуры электролита прокачкой его через электролизер без включения тока. Время прогрева вала до 10 минут;

Включить ток (деталь на аноде), произвести анодную активацию поверхности вала. Режим: температура электролита 331-333 К, плотность тока 40-60 А/дм2, время 120-150 сек., скорость протока электролита 0,8–1,0 м/с.

Выключить ток, сменить полярность тока, вал на катоде, включить ток. Режим: температура электролита Т = 331 - 333 К, плотность тока 80-100 А/дм2, время 60-90 сек.

Плавно снизить ток до рабочего, хромировать. Режим: температура 331-333 К, плотность тока 40-60 А/дм2, скорость электролита 0,8-1,0 время расчетное.

Выключить ток, изменить полярность, включить ток и выполнить анодное травление хромового покрытия в течение 300 сек.

Выключить ток, выключить насос, слить электролит из ячейки;

Демонтировать напорный шланг с ячейки и промыть электролизер теплой водой над ванной, дать стечь воде;

Демонтировать токоподводы;

Демонтаж вала с ванны: снять вал с ванны, промыть теплой и холодной водой, обдуть воздухом;

10) Произвести контроль поверхности шейк вала визуально микро-метрированием после зачистки от дендридов, удалить свинцовые пробки из маслоподводящих отверстий.

11) Сушка при температуре 333-373 К (сушильный шкаф, электротельфер)

12)Контроль хромового покрытия: контролировать соответствие толщины и качества хромового покрытия.

3.4 Расчет режимов резанья

К режимам резания относят глубину резания t, мм, подачу инструмента (заготовки) S, мм/об (мм/мин), скорость резания V, м/мин, мощность резания, кВт.

Режимы резания являются основой для нормирования технологических операций, выбора оборудования и настройки станка на выполнение конкретного технологического перехода.

Режимы резания определяют расчетным путем или назначают по нормативным таблицам.

Теоретический расчет режимов резания является более строгим. Однако эмпирические расчетные зависимости скорее дают лучшее представление о природе воздействия различных факторов, чем количественные оценки. Поэтому в практических приложениях теоретические расчеты применяются крайне редко.

Назначение режимов резания по таблицам просто и доступно пользователю даже с небольшим опытом технологического проектирования.

Назначению режимов резания предшествует выбор материала заготовки и инструментального материала.

Выбор материала заготовки практически однозначно предопределен рабочим чертежом детали.

Среди инструментальных материалов в современной металлообработке применение находят углеродистые (У7, У8…) и легированные (ХВГ и др.) инструментальные стали, быстрорежущие вольфрамосодержащие (Р9, Р18) и маловольфрамовые (10РМ8Ф2 и др.) стали, твердые сплавы и сверхтвердые инструментальные материалы.

В машиностроении до 70% механической обработки приходится на обработку лезвийными инструментами из твердых сплавов. Все твердые сплавы в соответствии с рекомендациями международных организаций стандартов в зависимости

от материалов, для обработки которых они предназначены, разделены на следующие три группы:

1) Р – для обработки углеродистых, низколегированных и среднелегированных сталей; это сплавы титановольфрамокобальтвой группы типа Т5К10, Т15К6 и др.; они отличаются повышенной износостойкостью при относительно меньшей механической прочности и допускают скорость резания до 250 м/мин;

2) К – для обработки материалов с сыпучей стружкой (стружкой надлома), таких например как чугуны и т.п.; это сплавы вольфрамокобальтовой группы типа ВК (ВК3 и др.); они более прочные, но менее износостойкие (допускают скорости резания до 220 м/ мин);

3) М – твердые сплавы для обработки специальных сплавов.

При назначении режимов резания определяют:

глубину резания как разность между размерами обрабатываемой поверхности на предыдущем и выполняемом переходе по операционным эскизам (предполагается обработка соответствующей поверхности за один проход);

подачу инструмента (заготовки) при точении, сверлении, зенкеровании, развертывании и шлифовании в зависимости от вида обработки: черновая (предварительная), получистовая, чистовая (окончательная);

скорость резания V по таблицам.

Надо иметь ввиду, что скорость резания зависит от стойкости инструментального материала и для оператора является как бы воображаемой. Для оператора (рабочего) всегда важна частота вращения шпинделя станка (инструмента), так как на станке можно установить конкретную частоту вращения шпинделя (инструмента), а не скорость резания.

Поэтому принятую скорость резания пересчитывают на частоту вращения n, об/мин, по формуле

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D},$$

где D – диаметр обработки поверхности (центрового инструмента), мм

3.5 Расчет приспособления для закрепления фундаментной рамы на плите

Приспособление обеспечивает надежное крепление и хороший доступ к месту зажима. Фундаментная рама крепится на плите четырьмя гидравлическими зажимами одновременно и на одном усилие.

Для прочного и неподвижного закрепления фундаментной рамы на плите необходимо рассчитать усилие прижатия. Расчетная схема приведена на рис. 3.1.

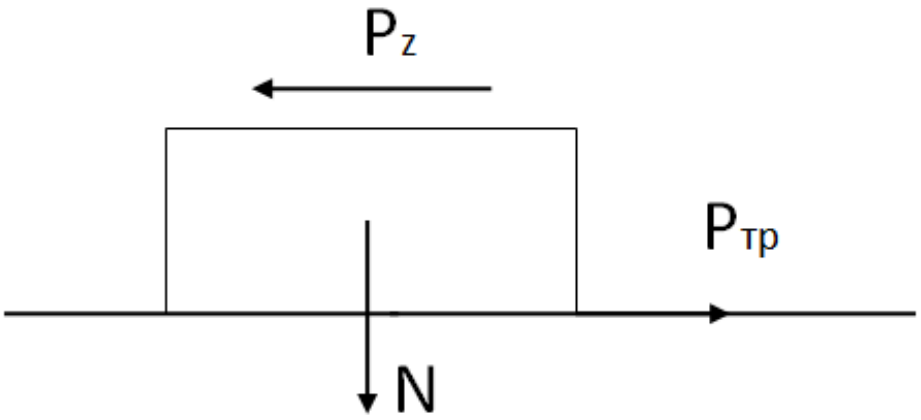


Рис. 3.1. Расчетная схема

Для условия неподвижности соединения должно выполнятся условие Pz<Pтр

$$Pтр = k*Pz,$$

где к – коэффициент заноса, принимаем k = 2.

P_z – сила резания, P_{zmax}= 1560 Н.

Тогда $P_{тр}$ = 2*1460 = 2920 Н.

$Pтр = N*f_{тр}$

где N – сила нормального давления;

$f_{тр}$ – коэффициент трения, $f_{тр}$= 0,1.

$$N= Pтр/fтр = 2920/0,1 = 29200 Н.$$

$$N = Q + P_{пр},$$

где Q – вес детали, Q= 5000 Н;

$P_{пр}$ – усилие прижатия.

$P_{пр}$ = N - Q- 29200 - 5000 = 24200 Н.

Усилие прижатия одним приспособлением определяется по формуле:

$P'_{пр} = (P_{пр}/n)*K_Н = (24200/4)*1,1 = 6655$ Н.

где n – количество приспособлений, n = 4;

$K_Н$ – коэффициент неравномерности затяжки, $K_н = 1,1$

Рассчитаем силу, создаваемую отжимным блоком. Расчетная схема приведена на рис. 3.2.

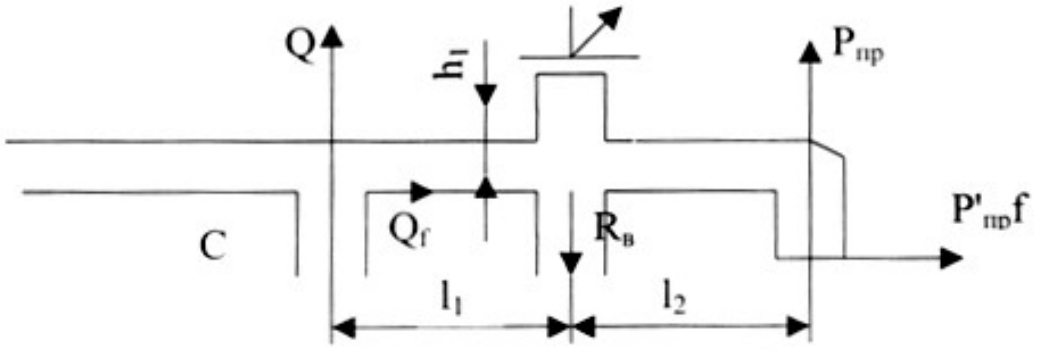


Рис. 3.2. Расчетная схема

$\Sigma M_в = 0$

$Q*l_1 - Q*f_1*h_1 - Q*f_{02} - P'_{пр}*l - P'_{пр}*l - P'_{пр}*f_1*h - P'_{пр}*f_0*r = 0$

$Q = P'_{пр}*(l/l_1)*\eta$

где η – коэффициент, учитывающий потери от терния, η= 0,9. Задаемся величиной отношения длины рычага l/l_1= 0,5.

Пусть 1 = 0,08 м; 1_1, = 0,16 м.

Тогда Q= 6655*0,5*0,9 = 2994,75 Н.

Диаметр болта из условия прочности:

$$\sigma = \frac{Q}{F} = \frac{Q*r}{\pi*d^2} => d = \sqrt{\frac{Q*r}{\pi*\sigma}}.$$

При допустимом значении напряжения смятия $[\sigma_{см}]$ = 60 МПа.

$$d = \sqrt{\frac{2994,75*2}{3.14*60}} = 6,1 \ \ мм.$$

Принимаем болт со стандартным диаметром 8 мм.

Приведем прочностной расчет наиболее нагруженной детали приспособления - рычага.

Расчет и построение эпюры изгибающих моментов выполняем методом Верещагина:

$$J_B = \frac{1}{E*J} * \left(\Sigma \omega_i * M'_{ci} \right) = 0$$

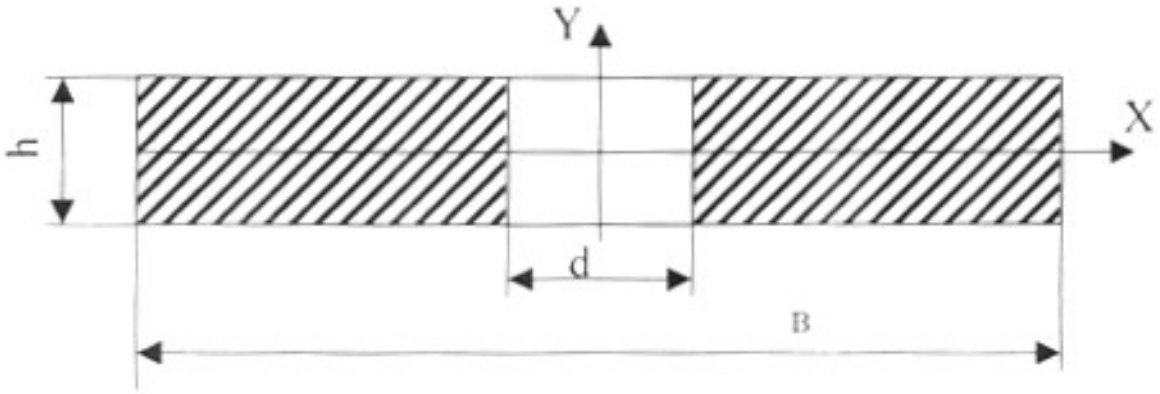
$$\Sigma \omega_i * M'_{ci} = 0.5 * l * Q * l * \left(-\frac{2}{3} * l \right) + l * Q * l * (-0.5) * l + 0.5 * Q * l 1 * l * 0 - 0.5 * Rb * l * l * \left(-\frac{2}{3} * l \right) = 0.$$

$$-\frac{Q*l^3}{3} - \frac{Q*l^3}{2} - \frac{Rb*l^3}{3} = 0.$$

$$Rb = \frac{5}{2} * Q = 7486{,}8 \ \ H.$$

Исходя из значений Q, R_B, l_1, l_2 строим эпюры изгибающих моментов. Как видно, наиболее нагруженными является сечение, проходящее через точку В. Проверим это сечение.

Сечение рычага



Из расчета на прочность найдем диаметр штока d:

$$d = \sqrt{\frac{Rb*2}{\pi * [\sigma]}} = \sqrt{\frac{7486{,}8 \ *2}{3.14*60}} = 8{,}9 \ \ мм.$$

Выбираем шток диаметром d = 12 мм для нарезки стандартной резьбы. Рассчитываем геометрические размеры сечения рычага из условия прочности.

Тогда

$$\sigma_Н = M_н/W_x \Rightarrow W_x = M_н/\sigma_н,$$

где $[\sigma_н]$ = 40–60 МПа = 4000 – 6000 кг/см^2

Тогда задаваясь одним из геометрических параметров сечения, мы найдем

$$W_x = \frac{Q*l}{\sigma_H} = \frac{2994{,}75*16}{5000} = 9{,}6 \ \ см^3.$$

$$W_x = \frac{J_x}{J_{max}}$$

, где $J_x = \frac{h^3}{12} * (B - d)$ – момент инерции

$$J_{max} = \frac{h}{2}$$

$$W_x = \frac{h^2}{6} * (B - d)$$

Задаёмся шириной сечения B = 5 см, тогда:

$$h = \sqrt{\frac{6 * W_x}{B - d}} = \sqrt{\frac{6 * 9,6}{5 - 1,2}} = 3,9 \ \ см.$$

Принимаем h = 4 см = 0,04 м.

5.Энергетический раздел. Расчет поршня методом конечных элементов.

В данном разделе был произведен расчет 3D модели поршня двигателя НВД-36 по средствам программы*SolidWorks* в приложении Simulation.

По итогам расчета программа предоставляет отчет, представленный ниже

5.1. Информация о файле

Имя модели:	porshenNVD36
Местоположение модели:	E:\учеба\паша и эдик\porshenNVD36.SLDPRT
Местоположение результатов:	c:\users\d528~1\appdata\local\temp
Имя исследования:	SimulationXpress Study (-По умолчанию-)

5.2. Материалы

No.	Имя тела	Материал	Масса	Объем
1	Твердое тело 1(Скругление1)	[SW]3,0506 (EN-AW 3207)	17.57 kg	0.00650739 m^3

5.3. Информация о нагрузке и ограничении

Крепление

Зафиксированный-1 <porshenNVD36>	вкл **2 Грани** в зафиксированном состоянии.	

Нагрузка

Давление-1 <porshenNVD36>	вкл **2 Грани** с давлением **6.4 N/m^2** в направлении, перпендикулярном выбранной грани	

5.4. Свойство исследования

Информация о сетке

Тип сетки:	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение:	Стандартная сетка
Автоматическое уплотнение сетки:	Выкл
Сглаживание поверхности:	Вкл

Проверка Якобиана:	4 Points
Размер элемента:	18.673 mm
Допуск:	0.93364 mm
Качество:	Высокая
Количество элементов:	11543
Количество узлов:	20843
Время для завершения сетки (часы;минуты;секунды):	00:00:06
Имя компьютера:	

Информация о решающей программе	
Качество:	Высокая
Тип решающей программы:	FFEPlus

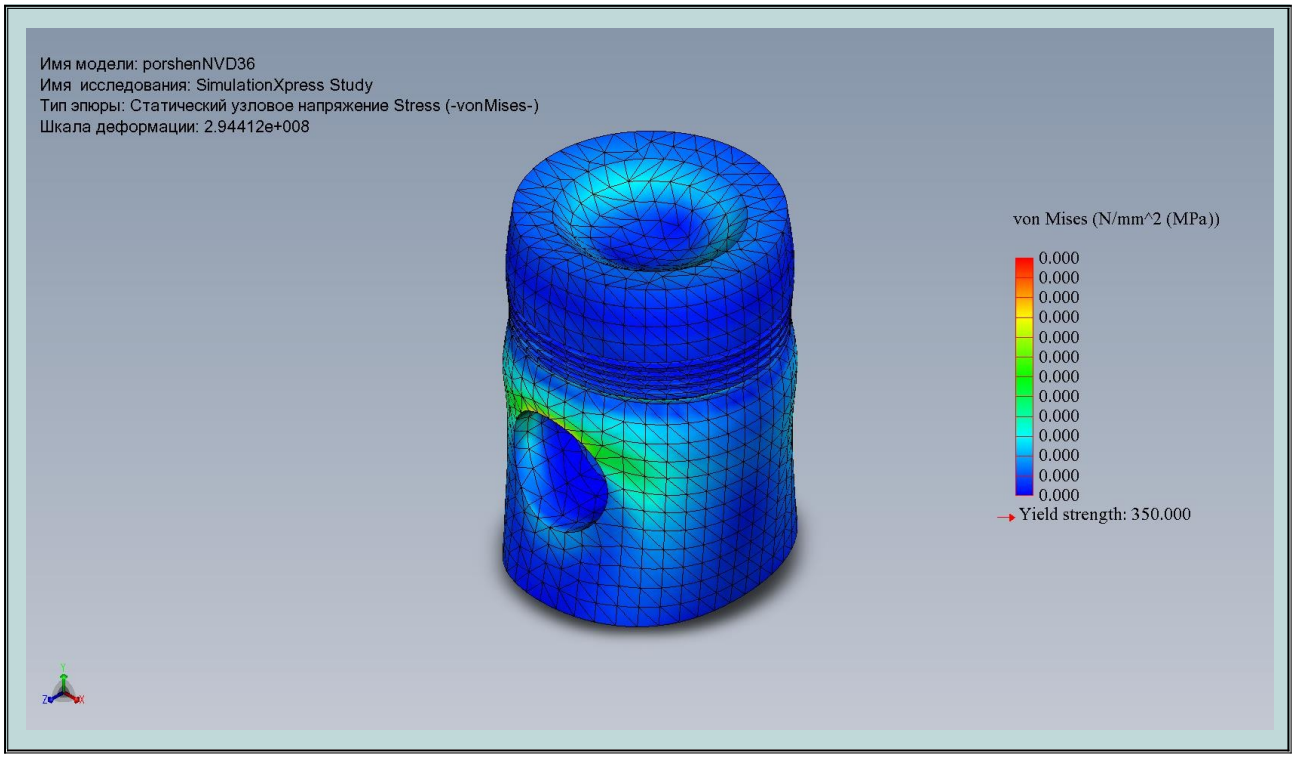
5.5. Результаты

5.5.1. НАПРЯЖЕНИЕ

Имя	Тип	Мин	Место	Макс	Место
Stress	VON: Напряжение Von Mises	2.90046e-009 N/mm^2 (MPa)	(2.09242 mm, -267.922 mm, -40.0001 mm)	0.000100985 N/mm^2 (MPa)	(-13.822 mm, -142.217 mm, -106.326 mm)

porshenNVD36-SimulationXpress Study-Напряжение-Stress

JPEG

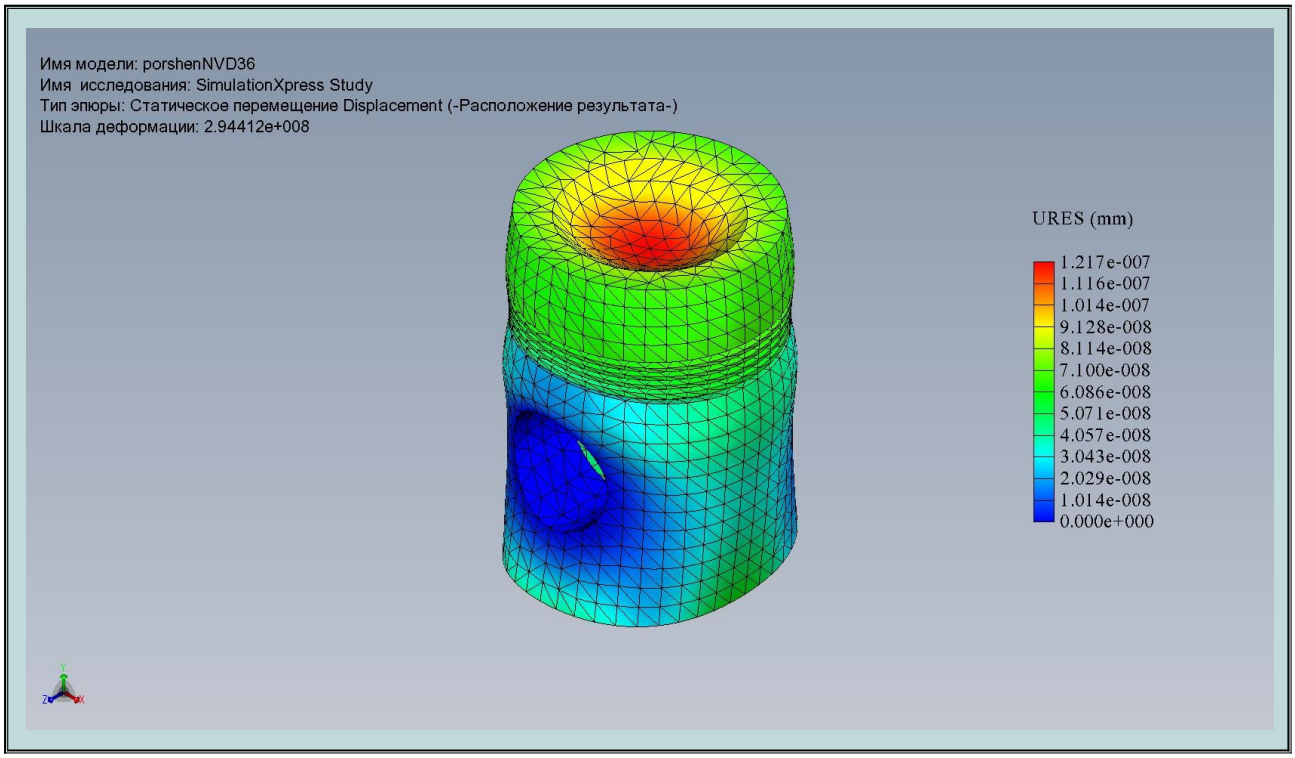


5.5.2. ПЕРЕМЕЩЕНИЕ

Имя	Тип	Мин	Место	Макс	Место
Displacement	URES: Результирующее перемещение	0 mm	(56 mm, -207 mm, -106.132 mm)	1.21712e-007 mm	(0.0126307 mm, -35.8333 mm, -0.0102447 mm)

porshenNVD36-SimulationXpress Study-Перемещение-Displacement

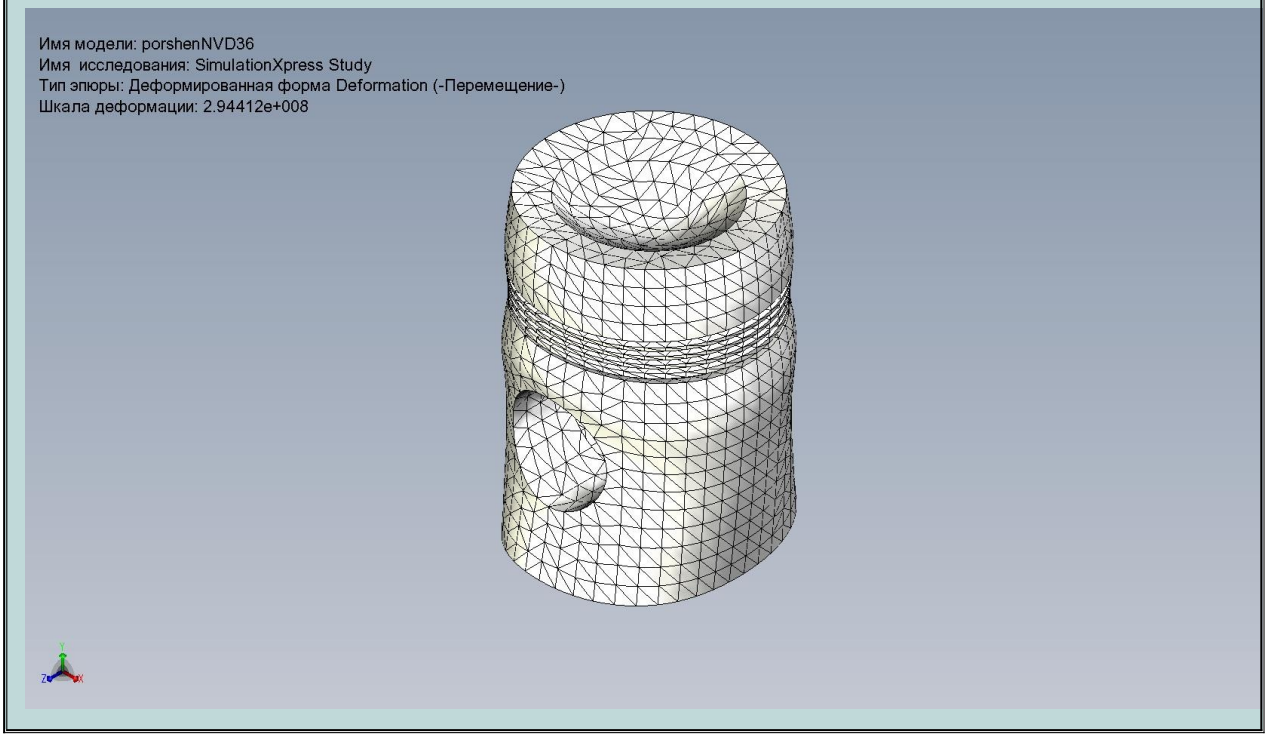
JPEG



5.5.1. ДЕФОРМАЦИЯ

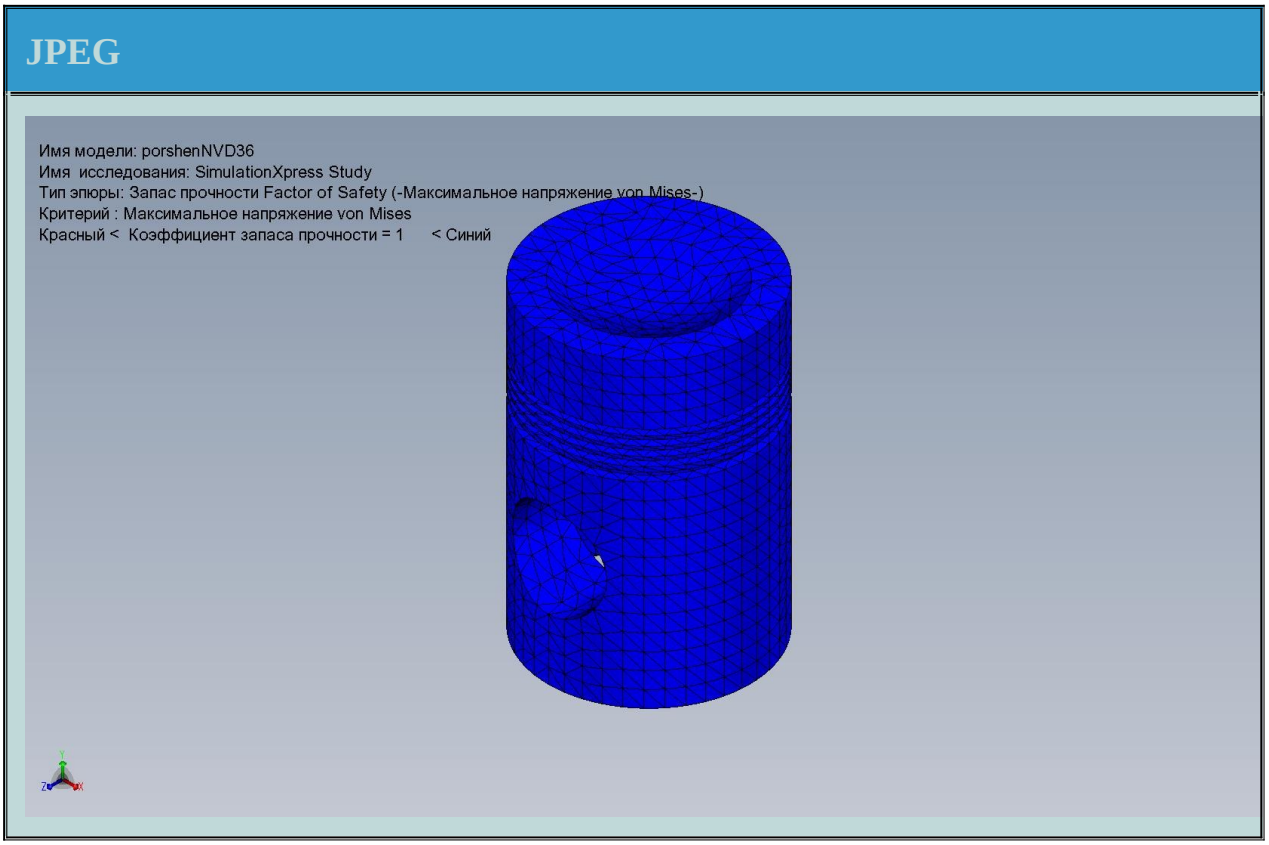
porshenNVD36-SimulationXpress Study-Перемещение-Deformation

JPEG



5.5.1. ЗАПАС ПРОЧНОСТИ

porshenNVD36-SimulationXpress Study-Запаспрочности-Factor of Safety



5.6. Приложение

Имя материала:	[SW]3,0506 (EN-AW 3207)
Описание:	
Источник материала:	
Тип модели материала:	Линейный Упругий Изотропный
Критерий прочности по умолчанию:	Неизвестно
Данные приложения:	

Имя свойства	Значение	Единицы измерения
Модуль упругости	7e+010	N/m^2
Коэффициент Пуассона	0	NA
Модуль сдвига	2.7e+010	N/m^2
Массовая плотность	2700	kg/m^3
Предел прочности при растяжении	3e+008	N/m^2
Предел текучести	3.5e+008	N/m^2
Коэффициент теплового расширения	0	/Kelvin
Теплопроводность	204	W/(m.K)
Удельная теплоемкость	940	J/(kg.K)

Примечание:

SolidWorks SimulationXpress результаты анализа проектирования базируются на линейном статическом анализе, и предполагается изотропный материал. Линейный статический анализ предполагает, что: 1) поведение материала является линейным согласно закону Гука, 2) вызванные нагрузкой смещения являются достаточно небольшими, чтобы не учитывать изменения жесткости в результате нагрузки, и 3) нагрузки прикладываются медленно, чтобы не учитывать динамические эффекты.

Не следует основывать ваши проектные решения исключительно на данных, представленных в этом отчете. Используйте эту информацию совместно с экспериментальными данными и практическим опытом. Испытания в условиях эксплуатации обязательны для утверждения окончательного проекта. SolidWorks SimulationXpress помогает уменьшить время продвижения на рынок путем снижения, но не упразднения испытаний в условиях эксплуатации.

Вывод: Наибольшая концентрация напряжения находится в верхней части бобышки, но она находится в допустимых пределах. Рассчитанный поршень удовлетворяет требованиям безопасной эксплуатации.

Заключение

Результаты проведенной работы позволяют сделать следующие выводы.

1. Было выявлено влияние износов деталей на износы кинематических связанных деталей и узлов двигателя 6ЧСП 18/22.

2. Так же были проанализированы статистические данные изменения размеров и формы и взаимного расположения поверхностей базовых деталей двигателя 6ЧСП 18/22.

3. Были рассмотрены и проанализированы распространенные методы восстановления базовых деталей дизеля 6ЧСП 18/22. По итогам анализа выбран метод плазменной обработки для восстановления.

4. Разработаны технологии процессов механической обработки плазменного напыления.

5. Рассчитано и спроектировано приспособления для закрепления фундаментной рамы на плите.

6. В энергетическом разделе был выполнен расчет поршня двигателя 6ЧСП 18/22 методом конечных элементов.

Таким образом, цель выпускной квалификационной работы, а именно анализ износов и повреждений базовых деталей судовых дизелей 6ЧСП18/22 была достигнута.

Список использованной литературы

1. Порошковая металлургия и напыленные покрытия: Учебник для вузов. В.Н. Анциферов, Г.И. Бобров, Л.К.Дружинин идр.- Металлургия, 1987.- 792 с.
2. Леонтьев Л.Б., Хмелевская В.Б. Повышение надежности судового оборудования технологитескими методами, В3-х т.- Современные методы упрочнения и восстановления деталей. – Владивосток: Морской государственный университет. Дальнаука,2003. – 283 с.
3. Матвеев Ю.И. Повышение долговечности деталей судовых дизелей с использованием плазменного напыления и лазерной обработки: автореферат. Дис. Д-ра техн. наук/ СПГУВК: СПб, 2003.
4. Погодаев Л.И. Изнашивание плазменных покрытий. // Проблемы машиностроения, 1993. – №1.
5. Сидоров А.И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой.-М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.
6. Хмелевская В.Б., Кузьмин А.А. Выбор технологий и материалов для повышения надежности судового оборудования.
7. Голицын В.А. Восстановление и упрочнение деталей судовых технических средств плазменным напылением: учебно-методическое пособие. – СПб., 2008.
8. Румянцев В.В. Конструкция и расчет двигателей внутреннего сгорания: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. – 277 с.
9. Дьяченко Н.Х., Харитонов Б.А., Петров В.М. и др. Конструирование и расчет двигателей внутреннего сгорания: Учебник для вузов под ред. Дьяченко Н.Х. – Л: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 392 с.
10. Алексеев В.П., Иващенко Н.А., Ивин В.И. и др. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей: Учебник для студентов втузов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» под ред. Орлина А.С., Круглова М.Г. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980. – 288 с.

11. Расчёт автомобильных и тракторных двигателей: Учеб. пособие для вузов. /А.И. Колчин, В.П. Демидов – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2002. – 496с.

12. Николаенко А.В. Теория, конструкция и расчёт автотракторных двигателей. – М.: Колос, 1984. – 335с.