

В.А. Белевитин

ИЗНОС И РЕМОНТ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Учебное пособие



МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный
гуманитарно-педагогический университет»

В.А. Белевитин

**ИЗНОС И РЕМОНТ
ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Учебное пособие

**Челябинск
2023**

УДК 629.1: 631.372

ББК 39.33

Б 43

Белевитин, В.А. Износ и ремонт деталей машин: учебное пособие. – Челябинск: Изд-во Южно-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2023. – 212 с. – ISBN 978-5-907611-93-1. – Текст: непосредственный.

Учебное пособие посвящено описанию видов износа деталей машин и предремонтных операций (очистки от загрязнений, оценки величины износа, разбраковки) процессов восстановления изношенности деталей узлов и механизмов агрегатов автомобильного транспорта наплавкой, нанесением покрытий и металлизацией, а также используемого моечного оборудования. Рассмотрены особенности очистки ремонтных деталей от эксплуатационных загрязнений различного происхождения с использованием одно- и многократных этапов обеспечения чистоты поверхностей, обеспечивающих гарантированное повышение ресурса работоспособности узлов и механизмов агрегатов автомобильного транспорта. Пособие содержит описание основных причин и характеристик видов изнашивания деталей, контрольные вопросы, на которые приведены обоснованные ответы.

Адресовано студентам, обучающимся по программе бакалавриата направления подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям), профиль «Транспорт».

Рецензенты: М.С. Дмитриев, д-р техн. наук, доцент

В.В. Руднев, канд. техн. наук, доцент

ISBN

© В.А. Белевитин, 2023

© Издательство Южно-Уральского

государственного гуманитарно-педагогического университета, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
Часть 1. СОСТАВ И ОСОБЕННОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ ПОДВЕРГАЕМЫХ ВОССТАНОВЛЕНИЮ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА	9
1.1. Характеристика восстанавливаемых деталей	9
1.1.1. Изделие – деталь, её состояние и параметры	9
1.1.2. Классификация деталей и их элементов	11
1.2. Старение и сохраняемость состояния автомобилей 22	
1.3. Причины и характеристика видов изнашивания деталей узлов и механизмов автомобилей	28
1.3.1. Причины изнашивания	28
1.3.2. Изнашивание деталей при трении	30
1.3.3. Абразивное изнашивание	32
1.3.4. Гидро- и газоабразивное изнашивание	37
1.3.5. Усталостное изнашивание	41
1.3.6. Адгезионное изнашивание	46
1.3.7. Окислительное изнашивание	52
1.3.8. Изнашивание при фреттинг-коррозии	63
1.3.9. Пластические деформации и разрушения	72
1.3.10. Кавитационное изнашивание	82
Контрольные вопросы	92
Часть 2. СОДЕРЖАНИЕ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	94
2.1. Значение процесса восстановления деталей автотранспортных средств	94
2.2. Технические требования к восстановленным деталям автотранспортных средств	98

2.3. Структура процесса восстановления деталей автотранспортных средств	100
Контрольные вопросы	111
Часть 3. ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ РЕМОНТНЫХ ЗАГОТОВОК УЗЛОВ И МЕХАНИЗМОВ АВТОМОБИЛЕЙ	112
3.1. Очистка деталей от загрязнений	112
3.1.1. Классификация свойств загрязнений	112
3.1.2. Методы очистки поверхностей деталей от загрязнений	118
3.1.3. Моющие средства и их компоненты	122
3.1.4. Оборудование для очистки деталей	136
Контрольные вопросы	153
Часть 4. ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ НАПЛАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ДЕТАЛЕЙ ПОД НАПЛАВКУ	155
4.1. Подготовка наплавочных материалов	155
4.2. Подготовка деталей под наплавку	164
4.3. Некоторые аспекты предварительной подготовки коленчатого вала ДВС к сварочной наплавке	171
Контрольные вопросы	188
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	190
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	192
ПРИЛОЖЕНИЕ. Ответы на контрольные вопросы	194

ВВЕДЕНИЕ

Автомобильный транспорт играет существенную роль в транспортном комплексе страны, регулярно обслуживая более 3 млн предприятий различных форм собственности, а также население страны. Ежегодно автомобильным транспортом перевозится более 80% грузов, а транспортом общего пользования – более 75% пассажиров. Одновременно автомобильный транспорт является основным потребителем ресурсов, расходуемых транспортным комплексом: 66% топлив нефтяного происхождения, 70% трудовых ресурсов и примерно половины всех капиталовложений.

Для повышения эффективности автомобильного транспорта необходимо ускорение создания и внедрения передовой техники и инновационных технологий, улучшение условий труда и быта персонала, повышение его профессиональной квалификации, развития новых видов транспорта, повышение темпов обновления подвижного состава и других технических средств, укрепления материально-технической и ремонтной базы, повышение уровня комплексной механизации погрузочно-разгрузочных и ремонтных работ.

Одновременно следует повышать безопасность дорожного движения, снижать негативное воздействие автомобильного транспорта на окружающую среду. Интенсификация производства, повышение производительности труда, экономия всех видов ресурсов – это задачи, имеющие непо-

средственное отношение и к автомобильному транспорту, и к его подсистеме – технической эксплуатации автомобилей (ТЭА), обеспечивающей работоспособность автомобильного парка. Развитие и совершенствование ТЭА диктуются интенсивностью развития самого автомобильного транспорта и его ролью в транспортном комплексе страны, необходимостью экономии трудовых, материальных, топливно-энергетических и других ресурсов при перевозках, техническом обслуживании (ТО), ремонте и хранении автомобилей, необходимостью обеспечения транспортного процесса надежно работающим подвижным составом, защиты населения, персонала и окружающей среды.

Насущная потребность разработки и внедрения качественных мультимедийных учебных материалов обусловлена как потребностями студентов, так и преподавателей. С одной стороны, применение таких материалов повышает эффективность самостоятельной работы студентов, их интерес к изучению дисциплины, и, следовательно, уровень усвоения материала. С другой стороны, использование мультимедийных средств решает задачу повышения качества аудиторной работы преподавателя со студентами и особенно за счет визуализации контента учебно-образовательных материалов.

Насущно необходимой, приоритетной на современном этапе функционирования системы профессионального образования становится такая организация учебно-образовательного процесса, которая направлена на развитие повышенной степени креативности, творческого мышления будущего специалиста, развитие у него коммуникативных умений, навы-

ков и способностей к проектированию и практической реализации формируемых профессиональных компетенций.

Процесс подготовки бакалавров в высшей школе ставит перед обучающимися две основные задачи: во-первых, овладеть суммой современных научных знаний и практических навыков по направлению специализации, во-вторых, научиться творчески мыслить, решать разнообразные сложные научные и производственные задачи.

Для успешного освоения курса профессиональной специализации студенты бакалавриата в условиях быстрого обновления знаний должны самостоятельно усвоить большой объем инновационной информации, способствующей активизации их познавательной деятельности, рациональному планированию и организации времени, необходимого на выполнение практических работ, формирования культуры мышления с одновременным развитием продуктивного мышления и способностей:

- использовать инновационные технологии в практической деятельности;
- проявлять инициативу и принимать адекватные и ответственные решения в проблемных ситуациях;
- строить свою деятельность в соответствии с нравственными, этическими и правовыми нормами;
- выделять существенные связи и отношения, проводить сравнительный анализ данных;
- анализировать и прогнозировать риски учебно-образовательной среды, планировать комплексные мероприятия по их предупреждению и преодолению;

– уметь быстро реагировать на перемены в разных сферах общественной жизни.

Цель учебно-методических рекомендаций, включенных в пособие, – способствовать процессу полного и глубокого освоения студентами бакалавриата контента знаний, умений и навыков дефектации узлов и механизмов автомобильного транспорта, их эффективно-восстановительного ремонта с применением процессов наплавки для исправного поддержания автомобильного транспорта в работоспособном состоянии и предупреждения отказов, наиболее часто возникающих при использовании автомобиля в конкретных условиях эксплуатации и оказывающих влияние на безопасность дорожного движения, экологию окружающей среды.

Часть 1. СОСТАВ И ОСОБЕННОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ ПОДВЕРГАЕМЫХ ВОССТАНОВЛЕНИЮ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

1.1. Характеристика восстанавливаемых деталей

1.1.1. Изделие – деталь, её состояние и параметры

Автомобили состоят из неразделяемых элементов – деталей. *Деталь* – изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке конструкционного материала без применения сборочных операций. К деталям также относят изделие с покрытиями и изделия, полученные с помощью сварки, пайки, склеивания и подобных процессов.

Деталь может находиться в исправном, неисправном, работоспособном, неработоспособном и предельном состояниях.

В *исправном состоянии* деталь соответствует всем требованиям нормативной, конструкторской и технологической документации, а если деталь не соответствует хотя бы одному из требований этой документации, то она признаётся *неисправной*.

Работоспособное состояние детали считается таким, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданную функцию, соответствует требованиям нормативной документации. Если значение хотя бы одного из этих параметров не отвечает требованиям

нормативной документации, то деталь признаётся *неработоспособной*.

Предельное состояние детали характеризуется тем, что её дальнейшее применение по назначению технически недопустимо. При достижении предельного состояния деталь может обладать или нет остаточной долговечностью. В первом случае деталь может быть подвергнута восстановлению, если это экономически целесообразно, а во втором случае она утилизируется.

Примеры состояний детали, при которых её восстановление однозначно недопустимо:

- наличие у детали необратимых явлений усталости, заключающейся в деградации механических свойств материала в результате постепенного накопления повреждений под действием переменных (часто циклических) напряжений с образованием и развитием трещин, что за определённое время обуславливает его разрушение, которое называют *усталостным разрушением* (рис. 1.1);



Рис. 1.1 – Характерный усталостный излом [19]

- межкристаллитная коррозия металлических материалов, которая считается одним из наиболее опасных вариантов

полного вывода изделия из строя вследствие утраты всех эксплуатационных характеристик и разрушения металла из-за того, что в большинстве случаев её не представляется возможным определить визуально (рис. 1.2);

- потеря прочности деталей в результате достаточно медленного процесса старения, в результате которого происходят изменения, изменение физическо-механических и химических свойств изделий.

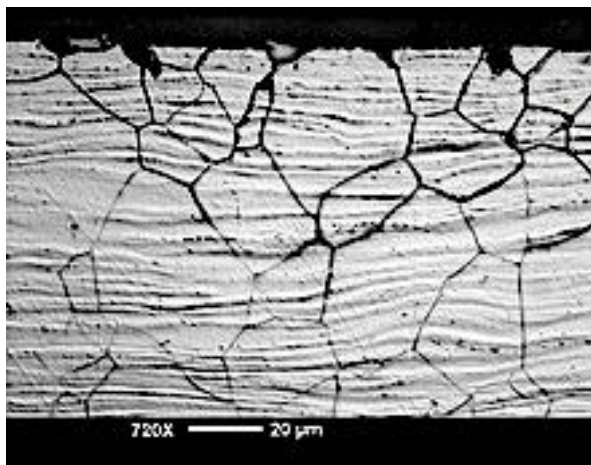


Рис. 1.2 – Микроструктура материала детали, подверженной межкристаллитной коррозии [20]

1.1.2. Классификация деталей и их элементов

Кластерная классификация групп восстанавливаемых деталей преимущественно подчинена цели сокращения однотипных работ при технологической и организационной подготовке восстановительного производства путём приве-

дения его к типовому или модульному видам как наиболее прогрессивным в технико-экономическом отношении. Оценка ремонтпригодности деталей базируется на использовании научно-обоснованных рекомендаций по классификации деталей для восстановления. В качестве классификационных признаков выбираются виды рабочих поверхностей деталей, на которых предусматриваются припуски для последующей механической обработки с соответствующим видом термической обработки при необходимости.

В современных условиях предлагается рассматривать пять классов технологических групп восстанавливаемых деталей: I – корпусные; II – круглые стержни; III – полые цилиндры; IV – диски; V – некруглые стержни. Классификация восстанавливаемых деталей автомобилей предусматривает технологические группы одноименных или однотипных деталей автомобилей разных марок, иногда разных наименований, но имеющих общие конструктивные особенности и возможность восстановления на том же оборудовании. В этой классификации предусмотрено распределение деталей на две категории в зависимости от типа ремонтных организаций, на которых их восстановление наиболее целесообразно. К первой категории относятся детали, восстановление которых наиболее целесообразно в специализированных ремонтных организациях (цехах, участках), а ко второй категории – детали, восстановление которых целесообразно в неспециализированных организациях, ориентированных на предметную специализацию по номенклатуре, т.е. ремонтных организа-

циях автомобильного транспорта, объектами которых могут быть автомобили, агрегаты, узлы и др.

Восстановление деталей в специализированных ремонтных организациях целесообразно при восстановлении изношенных поверхностей деталей всеми способами нанесения материала, восстановлении сложных и особенно ответственных деталей, необходимости применения сложных операций пластического деформирования. Такие предприятия характеризуются большой программой, используют современные технологии и специализированное оборудование.

Восстановление деталей в неспециализированных ремонтных организациях целесообразно при использовании сравнительно несложных, повсеместно освоенных технологических приемов и операций: ручная сварка, наплавка; восстановление синтетическими композициями; механическая обработка под ремонтный размер поверхностей простой конфигурации при сравнительно невысоких требованиях к точности; холодная правка мелких и средних деталей; перепрессовка, слесарная и слесарно-механическая обработка; использование способа дополнительных ремонтных деталей.

Номенклатура пяти классов с I по V технологических групп восстанавливаемых деталей следующая.

Класс I. Корпусные детали чаще всего изготавливаются из серого, модифицированного и ковкого чугунов или алюминиевых сплавов. К этому классу деталей относятся блоки, картеры, головки, крышки, корпуса, кронштейны. Блоки, картеры, головки обычно являются базовыми или основными

детальями агрегатов и в конструкциях имеют значительный удельный вес по массе и себестоимости изготовления. По приведенной выше классификации эти детали необходимо отнести к первой категории. Небольшую номенклатуру деталей (кронштейны, корпусные детали небольших размеров и дешевые детали) целесообразно отнести ко второй категории. Наиболее распространенными дефектами деталей этого класса являются: износ внутренних посадочных поверхностей под подшипники качения, вкладыши, гильзы; отклонения в правильности взаимного положения посадочных поверхностей; различного рода трещины и отколы, повреждения резьбы и др. В качестве технологических баз при механической обработке данных деталей используют обработанные плоскости, иногда накрест расположенные глухие технологические отверстия на этих плоскостях. Этот класс деталей может быть представлен следующей групповой номенклатурой:

- 1) блоки цилиндров и головки блоков цилиндров; картеры коробок передач, редукторов и ведущих мостов; картеры и корпуса рулевых механизмов, гидрораспределителей, гидроусилителей, тормозных силовых приводов; крышки и корпуса механизмов и приводов. Восстановление целесообразно в специализированных организациях (первой категории);
- 2) картеры сцеплений, крышки картеров и корпусов, кронштейны элементов ходовой части. Восстановление целесообразно в специализированных ремонтных организациях с предметной номенклатурой (второй категории).

Класс II. Круглые стержни. К круглым стержням отнесены детали, характеризующиеся цилиндрической формой

при длине, значительно превышающей диаметр детали. Детали этого класса изготавливаются из качественных углеродистых или высококачественных легированных сталей, иногда из высокопрочного чугуна. Рабочие поверхности в большинстве случаев подвергаются термической или химико-термической обработке.

По возможностям реализации восстановления детали этого класса относятся к 1-й категории. Основными дефектами указанных деталей являются: износ рабочих поверхностей (гладкие, шлицевые, фасонные), деформации деталей, повреждения резьбы, шпоночных канавок и др. По номенклатуре к этому классу относятся валы коробок передач, редукторов и механизмов, валы коленчатые и распределительные, карданные валы и их элементы, поворотные кулаки и оси, валы рулевых механизмов и привода тормозов, детали двигателей и их механизмов (поршневые пальцы, толкатели, клапаны), детали-кожухи полуосей, детали шарниров равных угловых скоростей, крестовины.

Детали этого класса обладают высокой ремонтпригодностью, многократно заменяются в межремонтный период, что объективно необходимо для их восстановления.

Класс III. Полые цилиндры. К этому классу отнесены детали, конструкция которых представляет собой несколько концентрично расположенных полых цилиндров. Материалом этих деталей чаще всего являются модифицированный, ковкий и специальный чугун, углеродистые стали. Детальями, относящимися к классу III, являются гильзы цилиндров, чашки дифференциала, ступицы колес, фланцы, муфты, фланцы-

вилки, крышки с направляющими и посадочными поверхностями. По принятой классификации указанные детали в большинстве случаев относятся к первой категории. Наиболее распространенные дефекты: износ внутренних цилиндрических и сферических рабочих поверхностей, износы поверхностей под уплотнения, подшипники, установку фиксирующих деталей и другие. Небольшая номенклатура этих деталей может быть восстановлена и в условиях неспециализированной ремонтной организации с использованием способов ремонтных размеров и дополнительных ремонтных деталей, что сказывается на возможности повторного восстановления, т.е. снижается число ремонтных циклов.

Класс IV. Диски характеризуются короткими цилиндрическими поверхностями по осям вращения при значительном диаметре рабочих и несущих.

В качестве материала используются модифицированный чугун и листовая сталь. К этому классу относятся различные диски агрегатов трансмиссии, маховики, тормозные диски и барабаны. Основные дефекты: износ торцевых и внутренних рабочих поверхностей, износ поверхностей под установку и крепления, деформации. Этот класс деталей для восстановления не требует применения специального оборудования. Ремонт производится с использованием способов ремонтных размеров и дополнительных ремонтных деталей. Восстановление целесообразно в специализированных ремонтных организациях с предметной номенклатурой (второй категории).

Класс V. Некруглые стержни. К этому классу отнесены прямые и кривые стержни, поперечное сечение которых некруглой формы, а длина более чем вдвое превышает размеры поперечного сечения. Конфигурация деталей этого класса и материалы, идущие на их изготовление, отличаются значительным разнообразием: модифицированный и высокопрочный чугун, малоуглеродистая, легированная и высоколегированная сталь. По номенклатуре к этому классу деталей относятся шатуны двигателей и компрессоров, балки передних осей и подвесок ходовой части, вилки и рычаги агрегатов трансмиссии, коромысла и рычаги газораспределительного механизма, несущие элементы металлоконструкций и др. Эти особенности не дают возможности однозначно отнести их для восстановления к первой или второй категориям. Распространенные дефекты: деформации, трещины, обломы, износы рабочих поверхностей и мест закрепления агрегатов, узлов, деталей.

Для восстановления с обеспечением ресурса и долговечности первоначальных размеров, геометрических параметров и физико-механических свойств детали этого класса относятся к первой категории. При ремонте для восстановления работоспособности в пределах межремонтного ресурса (несложные дефекты, простые операции) детали этого класса могут быть отнесены ко второй категории.

Основные детали двигателя внутреннего сгорания (ДВС) могут быть сведены в десять групп со следующими совокупностями их признаков:

1) детали с цилиндрическими внутренними и групповыми поверхностями с параллельными и перпендикулярными осями, плоскими торцами и стыками, внутренними резьбами, а именно такими как блок цилиндров, головка цилиндров, крышка бензонасоса, картер сцепления, крышка распределительных шестерен и др.;

2) детали с цилиндрическими внутренними единичными и групповыми поверхностями с параллельными осями, стыками, внутренними резьбами, а именно такими как впускная труба, крышка коробки толкателей, патрубков выпускной трубы, выпускной коллектор, кожух сцепления, масляный картер, головка бензонасоса, крышка коромысел, корпус масляного насоса, корпус водяного насоса, корпус карбюратора, крышка карбюратора, смесительная камера и др.;

3) детали тел вращения с наружными соосными и несоосными цилиндрическими и профильными поверхностями, торцами, стыками и внутренними резьбами, а именно такими как коленчатый вал, распределительный вал, поршень;

4) детали тел вращения с наружными цилиндрическими поверхностями, а именно такими как поршневой палец. Ось коромысел, валик водяного насоса, валик масляного насоса, плунжер масляного насоса;

5) детали тел вращения с наружными и внутренними соосными цилиндрическими поверхностями, а именно такими как гильза цилиндра, втулка клапана, корпус привода распределителя;

6) детали с ориентированными отверстиями, выполненными во втулках, торцами и стыками, а именно такими как шатун, стойка коромысел, коромысло;

7) детали с цилиндрическими и сферическими поверхностями, а именно такими как толкатель, штанга;

8) детали тел вращения с наружными и внутренними соосными цилиндрическими поверхностями, группами нескольких отверстий, а именно такими как шкив, маховик, ступица коленчатого вала;

9) детали с цилиндрическими и коническими поверхностями, а именно такими как клапан, седло клапана;

10) зубчатые колеса: шестерни коленчатого и распределительного валов, шестерни масляного насоса.

Наибольшее количество поверхностей деталей двигателей внутреннего сгорания приходится на внутренние цилиндры (29,7 %). Наружные цилиндрические поверхности деталей составляют 14,1 %, поверхности сложного профиля (сферические и конические) – 4,9 %. На внутренние и наружные резьбы приходится 11,6 и 1,7 % соответственно. Внутренние полости 3 % деталей должны быть герметичными. На трущиеся торцы приходится 14,9 % поверхностей и на стыки – 18,2 % поверхностей.

Наибольшее влияние на надежность отремонтированных агрегатов автомобилей оказывает качество восстановления следующих групп деталей:

- картеров, гильз, станин;
- вращающихся деталей: валов, дисков, зубчатых колес, кулачков, эксцентриков;

- движущихся поступательно деталей: поршней, штоков, ползунов, клапанов;
- участвующих в преобразовании движений: рычагов, штанг, шатунов.

Около 90 % трудоемкости и себестоимости приходится на восстановление приведенных групп деталей. Технологии их восстановления могут быть использованы как типовые.

Многообразие видов восстанавливаемых объектов еще больше сокращается при переходе от деталей к их элементам и классификации последних (табл. 1.1 [21]).

Таблица 1.1
Основные элементы деталей, виды нагрузок и повреждений, восстанавливаемые свойства

Элементы деталей			Восстанавливаемые свойства
Наименование	Виды нагрузок	Характер повреждений	
1	2	3	4
Стенки	Удары, гидростатическое давление, вибрация	Проборы, трещины	Прочность, герметичность
Шейки	Моменты и поперечные силы, переменные по величине и направлению	Износ, усталостные трещины	Износостойкость, форма, размеры, шероховатость, усталостная прочность
Прямолинейные направляющие	Осевые силы	Износ	Износостойкость, форма, размеры, шероховатость
Трущиеся горны			
Стыки	Усилия смятия деталей	Деформации	Плоскостность, параметры расположения

Окончание таблицы 1.1

1	2	3	4
Бобышки с гладкими отверстиями	Поперечные силы, переменные по величине и направлению	Деформации, износ	Износостойкость, форма, размеры, шероховатость
Резбовые отверстия	Усилие затяжки, вибрации	Деформации, износ, разрушение резьбы	Форма, размеры, шероховатость
Наружные резьбы			
Конечные фаски	Осевые силы, переменные по величине	Износ, наклеп	Износостойкость, форма, размеры, шероховатость
Зубья	Контактные нагрузки	Питтинговый износ, разрушение	Износостойкость, форма, размеры, шероховатость, усталостная прочность
Кулачки, эксцентрики	Поперечные силы	Износ	Износостойкость, форма, размеры, шероховатость
Шлицы	Силы, нормальные к поверхностям		
Упругие элементы	Вибрационные нагрузки	Изменение размеров, усталостные трещины, потеря жесткости	Размеры, усталостная прочность, жесткость

Организация процессов восстановления деталей, основанная на классификации элементов деталей, обладает экономическими преимуществами.

Контрольные вопросы

1. Какие виды изделий устанавливает стандарт?
2. Какое изделие называется деталью?

3. Какой конструкторский документ называется чертежом детали?

4. Какой конструкторский документ является основным для деталей?

5. Что называется изделием?

Изделием называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии.

6. Поясните разницу между параметром и диагностическим параметром изделия.

7. Какими требованиями должна обладать вновь разрабатываемая деталь?

8. Критерии работоспособности деталей машин.

9. Укажите детали, которые относятся к деталям машин общего назначения.

10. Как называется критерий работоспособности, который характеризует способность детали сопротивляться действию нагрузок без разрушения?

1.2. Старение и сохраняемость состояния автомобилей

При эксплуатации автомобиля имеют место физическое изнашивание деталей, потеря усталостной прочности их материала, происходят изменения, связанные с коррозией, потерей жесткости, структурные изменения и химические превращения в металлах, потеря некоторых физико-механических свойств (упругости, пластичности и др.), в связи с чем возникает необходимость знания законов старения, устанавливающих зависимость повреждений деталей автомобиль-

ного транспорта от времени, в частности, толщины изношенного слоя, остаточного прогиба при деформации детали, площади или глубины поврежденного коррозией слоя в зависимости от наработки. Использование этих закономерностей позволяет прогнозировать потерю работоспособного состояния автомобильного транспорта и его составных частей. Старение детали происходит в результате воздействия нескольких разрушительных процессов и является результатом воздействия большого числа факторов.

Старением называется процесс необратимого изменения его свойств и (или) состояния, обусловленного структурными превращениями, химическими изменениями в материалах, из которых изготовлены детали, а также постепенным накоплением в элементах конструкции автомобильного транспорта микро- и макроповреждений при эксплуатации.

Старение автомобильного транспорта происходит в процессе его хранения, ремонта, технического обслуживания, но наиболее интенсивно в процессе его эксплуатации, когда в деталях узлов и механизмов машины происходит изнашивание – процесс отделения материала с поверхности твердого тела детали (износа) и (или) увеличения его остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела детали. Износ является результатом изнашивания и определяется в установленных единицах (толщины слоя, объема, массы).

Процесс изнашивания обычно происходит в три стадии. На стадии I (рис. 1.3) идет приработка сопряженных поверхностей деталей, занимающая небольшой отрезок времени t_n

$= t_k - t_n$. При этом износ h изменяется нелинейно, скорость изнашивания высокая, но постепенно убывает.

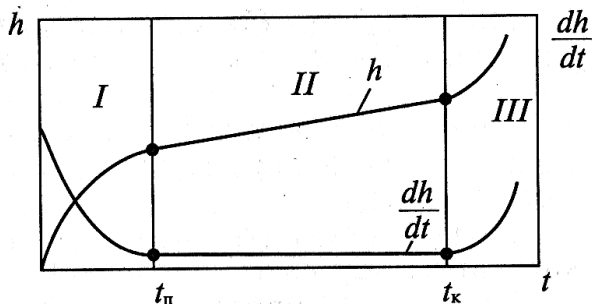


Рисунок 1.3 – Зависимость износа h и скорости dh/dt изнашивания от времени работы [22]

Стадия износа на стадии II является наиболее продолжительной и характеризуется стабильностью процесса. Скорость изнашивания в этом случае небольшая и постоянная. Стадия III – ускоренное изнашивание, характеризующееся резко возрастающей скоростью изнашивания. Причиной этого является изменение условий трения из-за изменения размеров и формы трущихся поверхностей деталей узлов и механизмов автомобильного транспорта.

В результате старения автомобиль постепенно достигает предельного состояния.

Предельным состоянием автомобиля и его составных частей (узлов и механизмов) называется состояние, при котором их дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно, либо восстановление их невозможно или нецелесообразно. Так, например, выполнение регулировочных работ обуславливается достижением пре-

дельных зазоров в сопряжениях деталей; замена или ремонт детали диктуется износом хотя бы одной ее рабочей поверхности до предельного размера.

Количественные значения показателей предельного состояния устанавливаются нормативно-технической документацией.

В технике различают следующие состояния объекта:

- 1) исправное – неисправное;
- 2) работоспособное – неработоспособное;
- 3) предельное.

Переход объекта из одного состояния в другое происходит из-за повреждения или отказа.

Повреждения могут быть несущественными, при которых работоспособность автомобиля сохраняется, и существенными, при которых работоспособность нарушается и ведет к отказу.

Ремонтоспособность – это свойство объекта, заключающееся в приспособленности, предупреждении и обнаружении причин возникновения отказов и повреждений, поддержании и восстановлении работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонта.

Отказ – это событие, при котором происходит полная или частичная потеря работоспособности.

Появление отказа всегда связано с неисправностью. Отказы подразделяются на *внезапные и постепенные*.

Любой технический объект характеризуется рядом свойств:

- надёжностью;

- ремонтпригодностью;
- сохраняемостью.

Надежность – это свойство объекта сохранять во времени, в установленных пределах значения всех параметров, выполняющих требуемые функции в заданных режимах, в условиях применения технического обслуживания, ремонтных работ, хранения и транспортировки. Это комплексный показатель качества. Основными показателями надежности восстановленных деталей приняты безотказность и долговечность.

Безотказность – это свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

Основными показателями безотказности являются:

1. Показатель безотказной работы.
2. Средняя наработка на отказ.
3. Параметр потока отказов.

Долговечность – это свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного значения. К основным показателям долговечности относят средний ресурс.

Составные части автомобиля подразделяют на ремонтируемые и неремонтируемые.

Ремонтпригодность – это поддержание и восстановление работоспособного состояния детали путем проведения технического обслуживания и ремонта.

Сохраняемость – это свойство объекта сохранять значение показателей надёжности и ремонтнопригодности в течение времени хранения и транспортирования.

Контрольные вопросы

1. Свойство автомобиля сохранять работоспособность до наступления предельного состояния есть его...

2. Свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе ТО и ремонта. Указать свойство, подходящее под это определение.

3. Свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов и устранению их последствий путем проведения ТО и ремонта. Указать свойство, подходящее под это определение.

4. Свойство объекта, непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течение хранения. Указать свойство, подходящее под это определение.

5. Продолжительность или объем работы объекта.

6. Нарушение исправности объекта или его составных частей вследствие влияния внешних воздействий.

7. Нарушение работоспособности объекта.

8. Состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям.

9. Что понимают под способностью автомобиля выполнять заданные функции с сохранением эксплуатационных свойств в установленных пределах?

10. Чем характеризуется предельное состояние автомобиля?

11. Что понимают под техническим состоянием автомобиля?

12. Долговечность – свойство автомобиля сохранять работоспособность до какого состояния?

13. Какие параметры агрегатов и систем автомобиля выбирают в качестве диагностических?

14. Назовите все диагностические нормативы.

15. Что характеризует степень отклонения эксплуатационных свойств автомобиля от заданного его уровня?

16. Какими показателями характеризуется безотказность автомобиля?

17. В каком состоянии может находиться в эксплуатации автомобиль?

18. Чем обусловлено статическое разрушение деталей?

1.3. Причины и характеристика видов изнашивания деталей узлов и механизмов автомобилей

1.3.1. Причины изнашивания

В процессе эксплуатации автомобиля в результате воздействия на него целого ряда факторов (воздействие нагрузок, вибраций, влаги, воздушных потоков, абразивных частиц при попадании на автомобиль пыли и грязи, температурных воздействий и т.п.) происходит необратимое ухудшение его технического состояния, связанное с изнашиванием и повреждением его деталей, а также изменением ряда их свойств (упругости, пластичности и др.).

Изменение технического состояния автомобиля обусловлено работой его узлов и механизмов, воздействием внешних условий и хранения автомобиля, а также случайными факторами. К случайным факторам относятся скрытые дефекты деталей автомобиля, перегрузки конструкции и т.п.

Основные действующие причины изменения технического состояния автомобиля при его эксплуатации:

- изнашивание, пластические деформации, коррозия;
- усталостные разрушения;
- физико-химические изменения материала деталей.

На изменение технического состояния автомобиля существенное влияние оказывают условия эксплуатации:

- дорожные условия (техническая категория дороги, вид и качество дорожного покрытия, уклоны, подъемы, спуски, радиусы закруглений дорог);
- условия движения (интенсивное городское движение, движение по загородным дорогам);
- климатические условия (температура окружающего воздуха, влажность, ветровые нагрузки, солнечная радиация), сезонные условия (пыль летом, грязь и влага осенью и весной);
- агрессивность окружающей среды (морской воздух, соль на дороге в зимнее время и др.);
- транспортные условия (загрузка автомобиля).

1.3.2. Изнашивание деталей при трении

Изнашивание – процесс постепенного изменения размеров тела при трении, проявляющийся в отделении с по-

верхности трения материала, накоплении его остаточной деформации деталей, и является основным фактором, ограничивающим срок службы оборудования, работающего в самых различных условиях.

Износ – результат изнашивания при трении деталей, выражающийся в изменении их размера, формы, объема и массы.

Различают сухое и жидкостное трение (рис. 1.4).

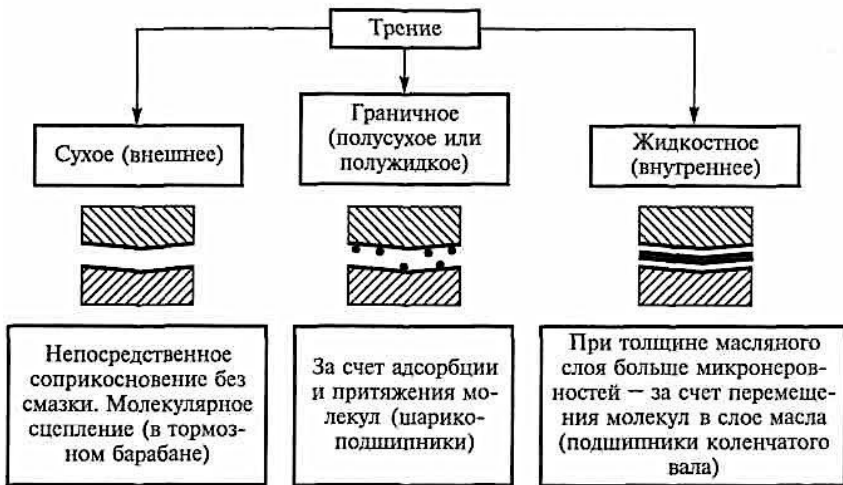


Рисунок 1.4 – Виды трения [23]

При сухом трении соприкасающиеся поверхности деталей взаимодействуют непосредственно друг с другом (например, трение тормозных колодок о тормозные барабаны или диски; трение ведомого диска сцепления о маховик). Данный вид трения имеет две разновидности: трение скольжения, возникающее при скольжении одного тела по поверхности другого, и трение качения, которое возникает, ко-

гда одно тело катится по поверхности другого. Сухое трение сопровождается повышенным износом трущихся поверхностей деталей.

При жидкостном (гидродинамическом) трении между трущимися поверхностями деталей создается масляный слой, превышающий микронеровности их поверхностей и не допускающий их непосредственного контакта (например, подшипники коленчатого вала в период установившегося режима работы), что резко сокращает износ деталей.

Практически при работе большинства узлов и механизмов автомобиля вышеуказанные основные виды трения постоянно чередуются и переходят друг в друга, образуя промежуточные виды граничного трения: полусухое и полужидкое, которые сопровождаются повышенным износом.

Значения коэффициентов трения для различных его видов:

- сухого твердого0,15–0,20;
- полусухого твердого0,05–0,15;
- полужидкостного0,01–0,05;
- жидкостного.....0,001–0,01.

Значения коэффициентов трения скольжения для различных материалов:

- сталь по стали0,18;
- сталь по чугуну0,16;
- чугун по чугуну0,16;
- чугун по бронзе0,21;
- бронза по стали0,18;
- бронза по бронзе0,20;
- сталь (или чугун) по материалам фередо и

райбесту, применяемых в тормозных и фрикционных устройствах0,25–0,45.

Выделяют три группы изнашивания (рис. 1.5):

- механическое;
- коррозионно-механическое;
- изнашивание в результате действия электрического тока.

Каждая из этих групп изнашивания подразделяется на виды.

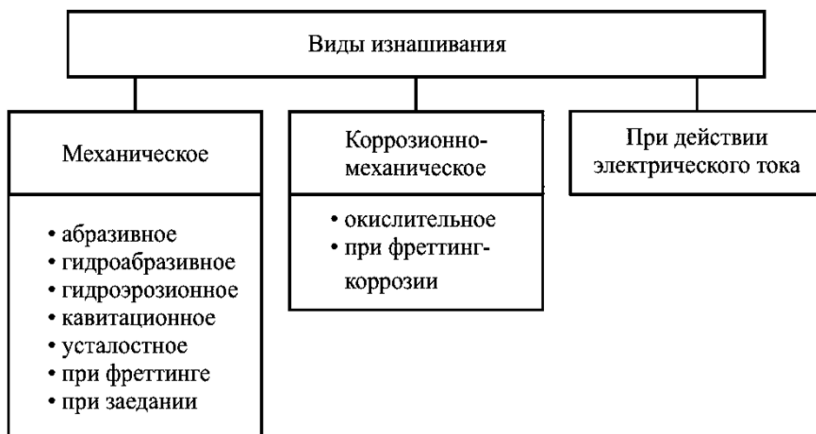


Рисунок 1.5 – Виды изнашивания [24]

Изнашивание является сложным процессом, зависящим от двух взаимосвязанных групп факторов.

С одной стороны, процесс изнашивания определяется условиями работы детали с учетом приложенных нагрузок, скорости перемещения, агрессивности среды и температуры эксплуатации.

С другой стороны, он зависит также от способности металла детали противостоять действию изнашивающих нагрузок, что определяется его химическим составом, термиче-

ской обработкой, структурой и полученными в результате этого механическими свойствами.

Наиболее общим является механическое изнашивание в результате механических воздействий твердых частиц на трущиеся поверхности. К этой группе видов изнашивания относятся такие виды как абразивное, гидро- и газоабразивное, усталостное, кавитационное, эрозионное изнашивания, а также изнашивание при заедании и фреттинге.

Факторы интенсивности изнашивания:

- род трения (скольжения, качения, качения с проскальзыванием) и вид трения (сухое, граничное, жидкостное);
- вид контакта пар трения (точка, линия, плоскость, цилиндр, сфера), среда (воздух, вода, газ, почва и т.п.);
- характер движения (равномерное, непрерывное и т.д.), его вид (вращательное, поступательное и др.);
- характер нагрузки (постоянная, неустановившаяся, знакопеременная) и её величина; температурные условия
- скорость перемещения трущихся поверхностей.

1.3.3. Абразивное изнашивание

Абразивное изнашивание возникает в результате деформирующего, режущего или царапающего действия твердых частиц при разновидности сухого трения – трении скольжения или трении качения, вызывающих выкрашивание частиц металла из поверхности деталей (рис. 1.6).

Механизм данного вида изнашивания заключается в удалении материала с изнашиваемой поверхности в виде более или менее дисперсных кусочков, хрупко отделяющихся при одно- или многократном воздействии абразива, в ви-

де очень мелкой стружки и фрагментов разрушенного материала, предварительно выдавленного абразивной частицей по сторонам пластически деформированной зоны. При этом процесс изнашивания не зависит от попадания абразивных частиц на поверхности трения.



Рисунок 1.6 – Абразивный износ вала [25]

Абразивный износ является ведущим для автомобильного транспорта. Абразивный износ и защита от него – одна из центральных проблем науки и техники, т.к. в промышленно развитых странах стоимость затрат, связанных с износом деталей, подверженных различным видам изнашивания, составляет более 10 % валового национального дохода. Половина из этих проблем связана с абразивным изнашиванием, поэтому выяснение закономерностей сопротивления металлических материалов этому виду износа является актуальной проблемой трибологии и триботехники при выборе наиболее стойких материалов деталей машин, подвергающихся при эксплуатации интенсивному абразивному изнашиванию.

Абразивное изнашивание, наблюдаемое при контакте с абразивом, может быть подразделено на два вида в соответствии с характером силового взаимодействия поверхности детали с абразивом:

- абразивное изнашивание материала детали при статических прижимных нагрузках, возникающее при продольном перемещении поверхности детали и абразива;

- абразивное изнашивание материала детали в условиях динамического воздействия, возникающего при их соударении.

По характеру силового воздействия абразивных частиц на трущиеся поверхности детали различают:

- скольжение детали по монолитному образцу;
- качение детали по абразиву;
- соударение с частицами абразива;
- соударение детали с монолитным абразивом;
- влияние потока абразивных частиц на поверхность детали;
- скольжение детали в массе абразивных частиц;
- взаимодействие сопряженных деталей в контакте с абразивными частицами.

Основной характеристикой поверхности, определяющей абразивное изнашивание в условиях статического нагружения, является наличие на ней хорошо различимых мелких царапин и углублений различной протяженности, всегда ориентированных в направлении движения абразива.

Необходимо отметить, что размеры абразивных частиц с увеличением длительности работы их в масле уменьшаются, поэтому их агрессивность постепенно снижается до нуля.

Изменение размеров деталей при абразивном изнашивании зависит от ряда факторов:

- материала деталей;
- механических свойств деталей;
- режущих свойств абразивных частиц;
- удельного давления при трении;
- скорости скольжения при трении.

Примером может служить изнашивание цилиндропоршневой группы двигателя в результате попадания в цилиндры с воздухом пыли, зубьев шестерен и подшипников агрегатов трансмиссии, открытых сопряжений деталей ходовой части.

По результатам исследований абразивный износ деталей узлов и агрегатов трансмиссии автомобилей составляет от 2 до 11 мкм на 1000 км пробега.

Повышению износостойкости материалов при абразивном изнашивании способствуют:

- насыщение поверхностных слоев элементами, образующими высокотвердые соединения карбидов, нитридов, боридов металлов;
- способность более мягких структур удерживать высокотвердые кристаллы в поверхностном слое;
- способность материала упрочняться при деформировании;

– различные виды обработки поверхности (закалка, цементация, азотирование, борирование, обкатывание роликами, напыление износостойких материалов, обработка лучом лазера, термохимические и различные физические методы и т.д.).

Стойкость материалов при абразивном изнашивании в большой степени зависит от условий и режимов эксплуатации. Так, двигатель автомобиля, эксплуатируемого в песчаных районах, требует капитального ремонта после пробега в 15 тыс. км, тогда как в условиях незапыленного воздуха он проходит без ремонта 150 тыс. км и более.

Помещение абразивных частиц в зону силового контакта деталей со смазочным материалом резко увеличивает износ. Данное явление наблюдается в подшипниках скольжения двигателей, цилиндро-поршневой группе, трансмиссиях и т.д. Концентрация абразивных частиц также способствует возрастанию износа.

Эффективными методами защиты от абразива в зоне трения являются различные уплотнения, фильтры и др.

Рассматривая процесс абразивного изнашивания, отметить следует частные случаи его проявления:

- абразивное изнашивание при ударе;
- гидро- и газоабразивное изнашивание.

Изнашивание материалов под действием твердых частиц в потоках жидкости или газа при газо- или гидроабразивном изнашивании, несмотря на различное состояние сред, имеет много общего.

Воздействие абразивной частицы, переносимой воздушным или жидкостным потоком на поверхность трения, сопровождается либо ударом с последующим образованием на ней лунок, либо скольжением, формирующим царапины.

1.3.4. Гидро- и газоабразивное изнашивание

Потоки жидкости или газа со взвешенными абразивными частицами являются причиной гидро- или газоабразивного изнашивания. Изнашивающие абразивные частицы могут быть минерального происхождения (например, пыль, содержащая кварц), окалиной или наклепанными металлическими продуктами изнашивания, твердыми структурными составляющими одной из сопряженных поверхностей.

Твердые частицы могут иметь разную форму и быть различным образом ориентированы гранями или ребрами относительно изнашиваемой поверхности, поэтому резать и снимать стружку могут только некоторые из них, большая же часть пластически деформирует более мягкий материал, оставляя следы в виде выдавленных рисок, царапин, канавок или отпечатков.

Навалы, образующиеся по краям таких пластически выдавленных царапин, сминаются другими абразивными зернами, подвергаясь иногда неоднократно повторному передеформированию.

Газоабразивное и гидроабразивное изнашивание возникает под действием твердых абразивных частиц, увлекаемых потоком газа или жидкости. Газоабразивное изнашивание наблюдается в деталях пневмотранспортных устройств;

гидроабразивное – в деталях насосов, гидросистем, распределителей, заслонок, вентилях, разных трубопроводов и т.д.

Жидкость или газ, в которых происходит перемещение абразивных частиц относительно поверхностей деталей, оказывает разупрочняющее действие на поверхностный слой материала детали. При этом следует различать два случая взаимодействия абразивных частиц с материалом. Уровень динамического воздействия и макрорельеф поверхности трения в первую очередь определяются ориентацией газо- или гидроабразивного потока к этой поверхности, или так называемым углом атаки (рис. 1.7, [27]).

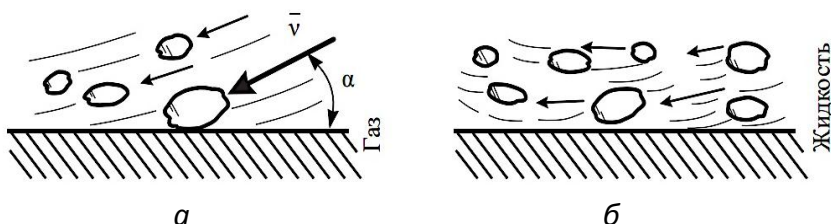


Рисунок 1.7 – Схемы газоабразивного (а) и гидроабразивного (б) изнашивания

Угол атаки α – это угол наклона вектора скорости абразивной частицы к поверхности детали. Различают два крайних случая:

- угол α равен или близок к 90° (α_{\max});
- угол α близок к 0° (α_{\min}).

Переход угла атаки от α_{\max} к α_{\min} сопровождается изменением условий внешнего воздействия на поверхностный слой и соответственно количественными и качественными изменениями процесса изнашивания. При угле атаки, равном

или близком к 90° , абразивные частицы осуществляют прямой удар по поверхности детали. При этом некоторая доля кинетической энергии твердой частицы затрачивается на упругое деформирование материала, а оставшаяся часть после исчерпания упругости материала расходуется на его пластическое деформирование и разрушение, а также на раздробление абразивной частицы. В случае пластического деформирования поверхностного слоя более высокую износостойкость показывает тот материал, который способен накопить до разрушения большее количество скрытой энергии. Выделение большого количества энергии в момент удара частицы вызывает мгновенный нагрев микрообъемов поверхностного слоя. По мере уменьшения угла атаки до 0° величина ударного импульса снижается.

На процесс абразивного изнашивания могут влиять природа и свойства абразивных частиц, агрессивность среды, свойства изнашиваемых поверхностей, характер взаимодействия частиц и поверхностей, нагрев и другие факторы. Общим для абразивного изнашивания является механический характер разрушения поверхностей.

Основные разновидности абразивного изнашивания различаются по способу закрепления частиц (закрепленные, полужакрепленные, свободные) и по способу контакта поверхности трения с абразивными частицами (скольжение, качение, удар).

Изнашивание закрепленными абразивными частицами характерно для изнашивания ковшей экскаваторов, ножей бульдозеров и скреперов, горного и камнеобработы-

вающего инструмента и т.д. Данному виду изнашивания близок процесс шлифования при механической обработке металлов.

В процессе изнашивания происходит наклеп (упрочнение) поверхностного слоя за счет механического воздействия деформированием, однако возможно и разупрочнение поверхностного слоя в результате нагрева или физико-химического воздействия окружающей среды, если она вводится для охлаждения или промывки.

Гидроабразивное изнашивание деталей топливных, масляных и водяных насосов, гидроприводов тормозов, гидроусилителей нередко проявляется совместно с эрозионным изнашиванием, возникающим в результате действия потока жидкости (газа). Трение потока жидкости о металл приводит к разрушению оксидной пленки, образующейся на поверхности детали, и сопутствует коррозионному изнашиванию и разрушению материала, особенно под действием абразивных частиц и микроударов в случае возникновения кавитации. Кавитационное изнашивание – это гидроэрозионное изнашивание при движении твердого тела относительно жидкости, когда пузырьки газа захлопываются вблизи поверхности, что создает местное повышение давления или температуры.

1.3.5. Усталостное изнашивание

Усталостным изнашиванием называется изнашивание поверхности трения или отдельных ее участков в результате повторного деформирования микрообъемов материала

под влиянием циклических контактных нагрузок, вызывающих появление единичных и групповых «ямок» выкрашивания (питинг), усталостных микротрещин и накопление микрповреждений, что ведет к разрушению поверхностных слоев материала в зоне трения. Интенсивность усталостного изнашивания зависит от величины нагрузки, ее длительности и количества изменений направления этой нагрузки. Такое явление получило название фрикционно-контактной усталости. Данный вид изнашивания происходит в результате механических воздействий при трении двух соприкасающихся поверхностей, например, в шестеренных передачах зубьев шестерен (трение зуб о зуб), в червячных передачах — поверхности червяка и червячного колеса, в подшипниковых соединениях (рис. 1.8, [26]).



Рисунок 1.8 – Следы фрикционно-контактной усталости внутреннего кольца подшипника скольжения

Интенсивность усталостного изнашивания определяется следующими факторами:

- наличием остаточных напряжений в поверхностях концентраторов напряжений (окислы, другие крупные включения, дислокации);

- качеством поверхности (микрорельеф, загрязнения, вмятины, царапины, задиры, канавки, риски);
- распределением нагрузки в сопряжении (упругие деформации, перекосы деталей, зазоры);
- видом трения (качения, скольжения или качения с проскальзыванием);
- наличием и типом смазочного материала.

При вступлении в контакт двух поверхностей 1 в относительном движении (рис. 1.9, [24; 27; 28]) сначала на трущейся поверхности образуются усталостные микротрещины 2

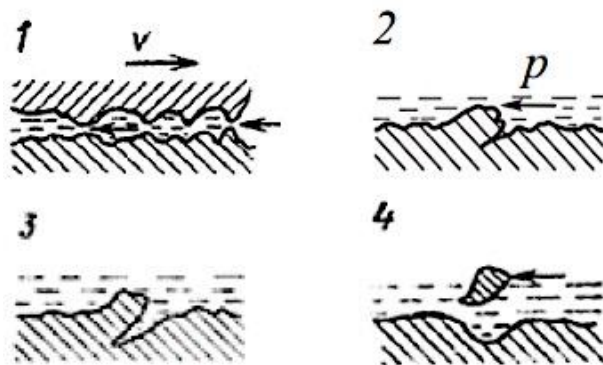


Рисунок 1.9 – Схема возникновения первичной микротрещины при усталостном изнашивании поверхностного слоя детали (по В.А. Зорину)

Смазочный материал, попадая в микротрещины, способствует их расклиниванию 3 и выкрашиванию 4 частиц металла, в результате чего на поверхности детали появляются мелкие ямки (питтинг). Число этих ямок и одновременно их размеры увеличиваются до тех пор, пока растущие контакт-

ные напряжения на рабочих поверхностях не вызовут пластическую деформацию и интенсивное изнашивание детали.

Толщина разрушенного слоя металла примерно соответствует глубине распространения под поверхностью максимальных касательных напряжений, возникающих при вступлении в контакт двух поверхностей *1* в относительном их движении.

В зависимости от соотношения составляющих сил в контакте, а также структуры материала, его физико-механических свойств, первичная микротрещина может зародиться и в подповерхностном слое детали (рис. 1.10, [27; 28]).

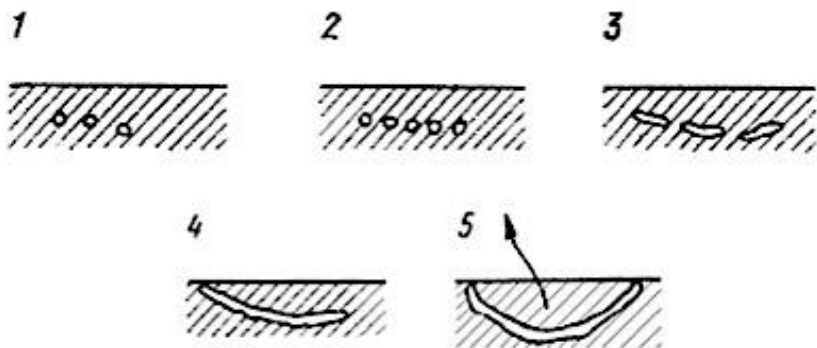


Рисунок 1.10 – Схема усталостного возникновения микротрещины в подповерхностном слое детали (по В.А. Зорину)

В этом случае механизм разрушения поверхности можно представить следующим образом: *1* – зарождаются подповерхностные дислокации; *2* – дислокации накапливаются; *3* – образуются полости; *4* – слияние полостей ведет к образованию микротрещин, параллельных поверхности тре-

ния; 5 – при достижении микротрещиной некоторой критической длины отделяется частица износа.

Подповерхностные микротрещины зарождаются, как правило, у деталей с неоднородной структурой материала; азотированных, цементованных, поверхностно закаленных, а также у деталей, работающих при очень больших контактных напряжениях.

Участки рабочих поверхностей деталей, поврежденные усталостным изнашиванием, имеют две типичные области: относительно гладкого материала, которая формируется по краям в результате трения двух сторон микротрещины при ее раскрытии и смыкании (в этой области металл обычно имеет специфическую окраску вследствие воздействия масла, пыли и продуктов коррозии), и шероховатой поверхности «рваного» металла, расположенной на дне раковины.

Способность детали сопротивляться усталостному изнашиванию обычно оценивают временем работы τ в заданных условиях до отрыва частиц металла.

Наибольшее влияние на развитие усталостного изнашивания оказывают условия трения (нагрузка и температура), свойства материалов (твердость и шероховатость поверхности) и применяемые смазочные материалы.

Сопротивление материалов питтингу прямо пропорционально твердости рабочей поверхности и вязкости смазочного материала. С возрастанием нагрузки N на рабочую поверхность деталей наработка до возникновения усталостного выкрашивания уменьшается (рис. 1.11, [28]).

Пульсирующие нагрузки резко усиливают темпы осповидного износа (рис. 1.12, [29]).

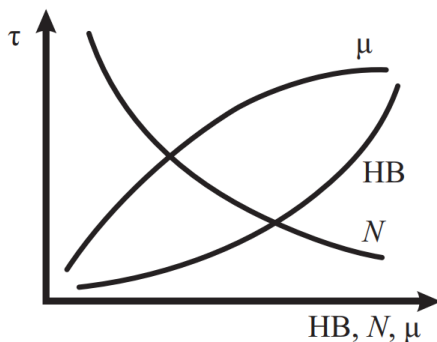


Рисунок 1.11 – Зависимость времени наработки τ до появления усталостного выкрашивания от вязкости смазочного материала μ , твердости материала HB и нагрузки N

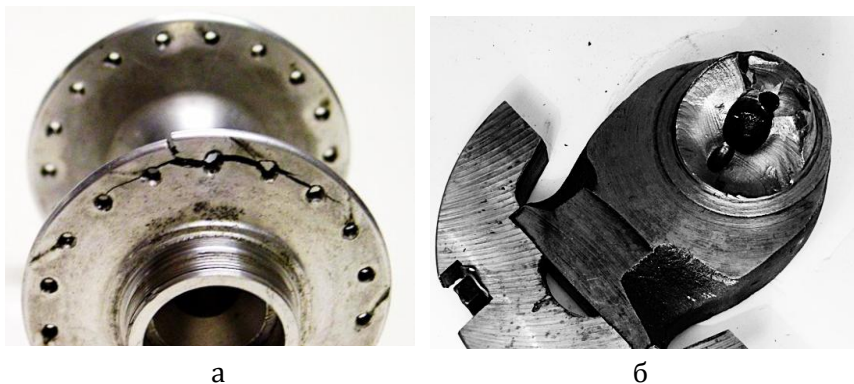


Рисунок 1.12 – Усталостное разрушения фланца втулки (а) и коленчатого вала (б)

Смазочные материалы уменьшают напряжение, действующее в контакте, в результате чего процесс образования микротрещин в начальной стадии идет медленнее.

Усталостное изнашивание наиболее часто наблюдается в условиях высоких контактных нагрузок при одновременном качении и проскальзывании одной поверхности под другой. В таких условиях работают, например, зубчатые колеса, тяжело нагруженные шестерни и подшипники качения, зубчатые венцы.

Усталостное изнашивание материала может быть умеренным и прогрессирующим. Усталостное изнашивание рабочих поверхностей деталей сопровождается повышением уровня шума и вибрации по мере увеличения износа.

1.3.6. Адгезионное изнашивание

Одним из наиболее опасных, катастрофических видов износа является *адгезионное изнашивание* (изнашивание при схватывании и заедании), при котором имеют место задиры, глубинные разрушения поверхностей. При относительном смещении твердых тел согласно учению И.В. Крагельского, Н.Б. Демкина и др. в зоне трения можно ожидать реализацию пяти видов фрикционных связей (рис. 1.13, [30]).

При реализации первого вида связи в случае внедрения неровностей высотой h осуществляется микрорезание I. Условием прохождения этого процесса является $h/r > 0,1$ (r – радиус закругления шероховатости) для несмазанных поверхностей и $0,2-0,3$ – для смазанных. Вторая фрикционная связь характеризует пластическое оттеснение II, которое проявляется при малом значении сил адгезии, когда при данной степени пластической деформации еще не достигается схватывание. В этом случае $h/r < 0,1$. Третья фрикционная связь относится к упругому оттеснению III, т.е. на контакти-

руемых поверхностях осуществляется взаимодействие в условиях упругой деформации. Тогда

$$\frac{h}{r} = 240 \cdot \left(\frac{\sigma_s}{E} \right)^2,$$

где σ_s – предел упругости; E – модуль упругости.

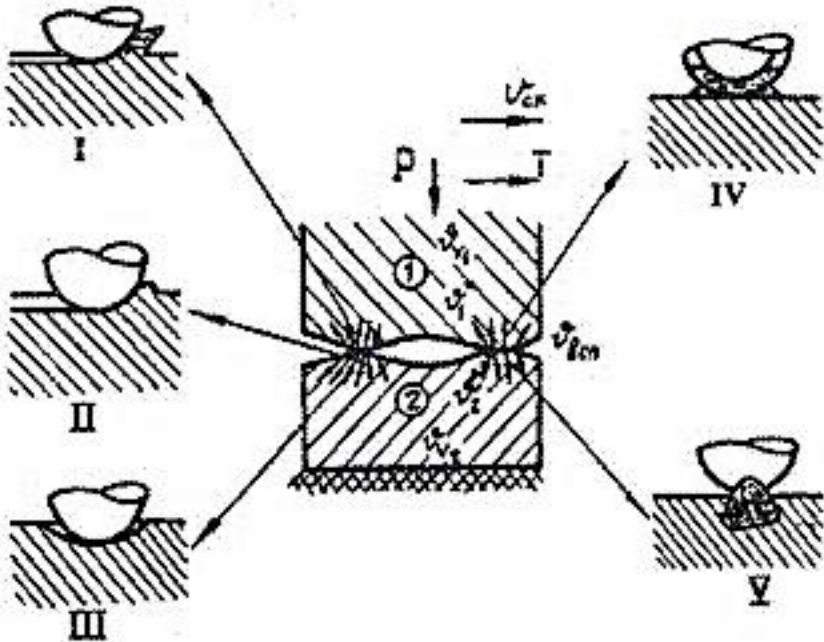


Рисунок 1.13 – Виды фрикционного взаимодействия по И.В. Крагельскому и тепловая модель микроконтакта по А.В. Чичинадзе [30]:

I – срез материала; II – пластическое оттеснение; III – упругое оттеснение; IV – схватывание пленок; V – схватывание поверхностей; 1 и 2 – контактирующие тела; P – нормальная нагрузка; $V_{ск}$ – скорость скольжения; T – средние температуры поверхностей трения тела 1 и 2; $V_{сп}$ – температурная вспышка на фактическом пятне касания.

При четвертом виде связи происходит пластическая деформация и адгезионное взаимодействие IV в тонком поверхностном слое. Четвертый вид фрикционной связи известен в качестве положительного градиента физико-механических свойств, когда вышележащие к площади контакта слои материала твердых тел менее прочны, чем нижележащие (более удаленные от поверхности трения слои). Если трущиеся поверхности подчиняются указанному правилу, наблюдается наименьшая повреждаемость узла трения (износ и трение в этом случае минимальны). Это правило положено в основу выбора многих материалов трущихся пар для обеспечения их высокой износостойкости.

В пятой фрикционной связи осуществляется глубинное разрушение V поверхностей в результате схватывания, т.е. отрицательный градиент механических свойств трущихся тел.

В реальном фрикционном узле могут одновременно реализовываться все пять видов фрикционного контакта. В ряде случаев может реализовываться и преобладающее действие того или иного вида фрикционного взаимодействия, по которому судят уже о механизме трения между телами в целом.

При механических видах изнашивания металлических материалов основным первичным процессом, обуславливающим возникновение износа, является упругопластическая деформация поверхностных слоев материалов, приводящая к возникновению в поверхностных слоях большого количества дефектов кристаллического строения (точечные дефекты, дислокации, дефекты упаковки, двойники), сильной фраг-

ментации зерен, текстурированию металла, а также к образованию ультрамелкокристаллической структуры с размером кристаллитов 0,01–1,00 мкм.

Схватывание – это процесс недопустимого повреждения, которое развивается в результате возникновения локальных металлических связей между поверхностями, деформации этих связей и разрушения с отделением частиц металла в процессе холодного задира (схватывания I рода) и горячего задира (схватывания II рода) (рис. 1.14, [24]) или налипанием отделенных частиц металла на поверхность.

Металлические связи возникают вследствие интенсивной деформации поверхности. На явлении схватывания при совместном пластическом деформировании металлов основаны технологические процессы холодной сварки металлов и получения биметаллов методом холодной прокатки. Если при технологических процессах соединения металлов методом холодной сварки и плакирования схватывание используется намеренно, то при резании металла, холодной обработке давлением и при трении схватывание является вредным сопутствующим процессом.



Рисунок 1.14 – Внешний вид рабочей поверхности коленчатого вала грузового автомобиля после изнашивания схватыванием I рода и глубинным вырыванием при трении скольжения

Холодный задир (ХЗ) (схватывание I рода) происходит при трении с небольшими скоростями относительного перемещения (до 0,5–0,6 м/с) и удельными нагрузками, превышающими σ_T , при отсутствии смазочного материала и защитной пленки окислов. Развивается на глубину до 0,5 мм. Средняя температура поверхности при этом достигает не более 100 °С. Возникает ХЗ при трении скольжения с малыми скоростями и при небольшой нагрузке в отсутствие на поверхности смазки или окисной пленки. Протекает ХЗ при трении вследствие сближения ювенильных участков в точках контакта поверхностей на расстояние действия межатомных сил. В этих точках активизируются источники дислокаций; перемещение и взаимодействие последних приводит к повышению количества точечных дефектов кристаллического строения. Это вызывает диффузионный обмен атомами между поверхностями, в результате чего возникают металлические связи с взаимной достройкой электронных уровней объединяемых атомов. Накопление дефектов кристаллического строения и взаимодействие их между собой приводят к возникновению в поверхностном слое материалов многочисленных субмикро- и микротрещин, развитие которых в конечном итоге обуславливает отделение фрагментов материала — продуктов изнашивания (частиц износа). Такие «мостики» холодной сварки существуют считанные доли секунды, после чего они разрушаются тангенциальными на-

пряжениями при трении. Поскольку место сварки упрочнено наличием большого количества дефектов кристаллического строения, разрушение происходит в другой точке, немного вглубь

от поверхности. Таким образом, частица металла при ХЗ отрывается с одной поверхности и переносится на другую.

Горячий задир (схватывание II рода), наоборот, имеет место при трении скольжения с большими скоростями ($> 0,6$ м/с) и нагрузками, когда в зоне контакта температура резко повышается (до $500\text{--}1500$ °С). Механизм возникновения данного типа разрушения такой же, как и у схватывания I рода. Оно возникает при трении скольжения с большими скоростями и нагрузкой, когда существенно повышается температура в месте контакта. При нагреве металл интенсивно размягчается, вследствие чего облегчается возникновение металлических связей между поверхностями. В очень тяжелых условиях трения в месте схватывания происходит оплавление поверхности, т.е. температура в зоне трения достигает 1500 °С и выше. Схватывание II рода происходит при сухом трении или граничной смазке, когда высокое давление разрушает защитные вторичные пленки, а высокая температура служит причиной десорбции смазочного материала с поверхности.

При схватывании I рода коэффициент трения составляет $0,5\text{--}4,0$, толщина разрушенного слоя – до $3\text{--}4$ мм, а при схватывании II рода – соответственно $0,10\text{--}1,0$ и до $1,0$ мм.

При трении качения в условиях граничной смазки также наблюдается изнашивание, вызванное схватыванием материалов и заеданием.

Схватывание происходит при местном разрыве смазочной пленки и установлении металлического контакта, что возможно не только при прекращении подачи смазочного материала, но и вследствие общей перегрузки сопряжения, резкого повышения температуры масла в поверхностных слоях, местных температурных вспышек и т.д.

Изнашивание при заедании (адгезионное изнашивание) имеет место в зубчатых зацеплениях агрегатов трансмиссии при использовании несоответствующего сорта масла или при его малом уровне.

1.3.7. Окислительное изнашивание

Окислительное изнашивание (ОИ) является проявлением структурного приспособления металлов при трении. ОИ протекает в условиях нормального процесса трения и заключается в образовании вторичных пленок твердых растворов и химических соединений металла с кислородом и их удалении с поверхности трущихся деталей.

Главная особенность ОИ состоит в том, что скорость разрушения пленок не превышает скорости их образования. Пластическая деформация активизирует поверхность, стимулируя процесс окисления; деформационные и окислительные процессы протекают в поверхностных слоях толщиной 10–100 нм. Окислительный износ имеет место в отсутствие агрессивной среды, при нормальной или повышенной темпе-

ратурах без смазки или при ее недостатке. Скорость изнашивания при ОИ мала благодаря защитному действию окисных пленок, предотвращающих поверхности от схватывания. Под влиянием повторной пластической деформации пленки разрушаются, и если пленки твердые, то их частицы могут быть абразивом, царапающим поверхность. Разрушенные окисные пленки очень быстро восстанавливаются, при этом процесс восстановления пленок усиливается под влиянием повышения температуры в зоне трения.

Окислительное изнашивание характеризуется протеканием одновременно двух процессов – пластической деформации малых объемов металла поверхностных слоев и проникновения кислорода воздуха в деформированные слои. В первой стадии происходит разрушение и удаление мельчайших твердых частиц металла из непрерывно образующихся (от проникновения кислорода) пленок. Для второй стадии характерно образование и выкрашивание пластически недеформирующихся хрупких окислов. Интенсивность изнашивания зависит от окислов, препятствующих схватыванию поверхностей.

При обычных температурах окисление поверхностей активизируется пластической деформацией, поэтому необходимо создавать поверхности трения с высокой твердостью. Повышение температуры способствует росту окисных пленок, а вибрация разрушает их.

Окислительное изнашивание возникает при трении скольжения и трении качения. При трении скольжения ОИ становится ведущим, а при трении качения – сопутствующим

другим видам изнашивания. Проявляется этот вид изнашивания при сравнительно невысоких скоростях скольжения и небольших удельных нагрузках, а также на таких деталях, как шейки коленчатых валов, цилиндры, поршневые пальцы и др. Интенсивность изнашивания снижается при смене смазки, понижении рабочей температуры узла трения.

Окислительное изнашивание проявляется при следующих скоростях скольжения: при сухом трении для отожженных сталей – до 4 м/с и для закаленных сталей – до 7 м/с; при граничном трении – до 25 м/с. Удельная нагрузка при этом не должна превышать значений, когда разрушаются масляные пленки или окисные слои.

В зависимости от условий трения и свойств материалов, составляющих пару трения, ОИ может проявляться в двух формах. Первая форма состоит в образовании подвижных, довольно пластичных пленок вторичных структур, которые перемещаются по поверхности и заполняют впадины и неровности (структуры 1-го рода) (рис. 1.15, [24]). Поверхность становится очень гладкой без значительных признаков рельефа (рис. 1.16, [24]).

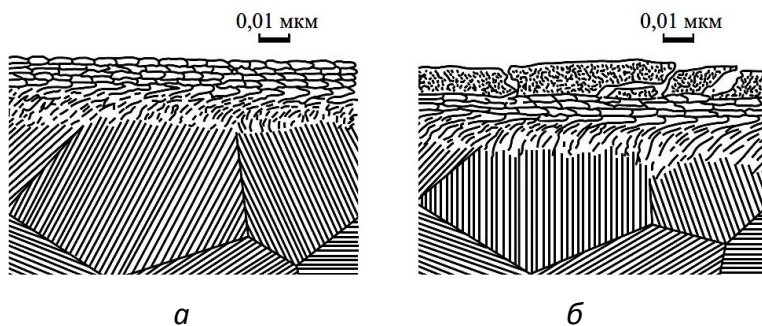


Рисунок 1.15 – Схема строения поверхностных слоев при ОИ:
а – вторичные структуры 1-го рода, *б* – вторичные структуры 2-го рода

Вторичные структуры 1-го рода представляют собой твердые метастабильные растворы кислорода в металле, а также эвтектики разной степени насыщения. Твердость вторичных структур 1-го рода превышает твердость основы. Изнашивание структур 1-го рода происходит путем перемещения тонких пленок по поверхности контакта с последующим выносом их с поверхности (рис. 1.17, [27]). Особенностью таких пленок является отсутствие четкой границы между ними и основным металлом.

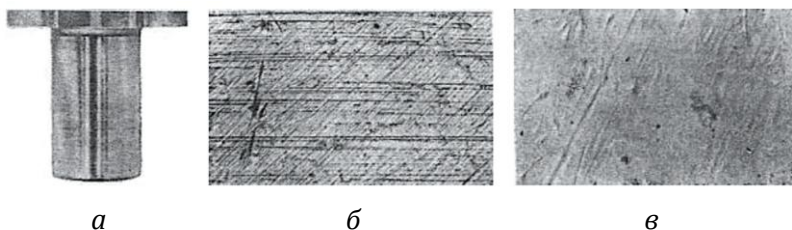


Рисунок 1.16 – Состояние поверхности трения цапфы шестерни гидроцилиндра, покрытой пленками 1-го рода:
а – внешний вид цапфы; *б* – микрофотография, $\times 300$;
в – субмикрофотография, $\times 12000$

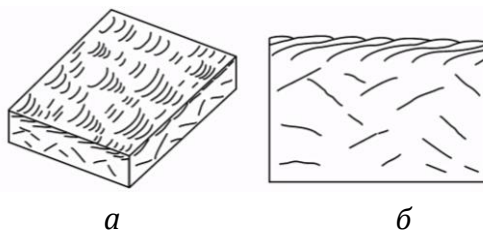


Рисунок 1.17 – Схема строения и выноса с поверхности

подвижных вторичных структур 1-го рода:
a – в плане; *б* – в сечении

Другая форма ОИ связана с образованием твердых и хрупких пленок на основе химических соединений кислорода с металлом – вторичных структур второго рода, которые имеют твердость, значительно превышающую твердость основного металла. Поверхность трения отличается гетерогенностью строения с наличием участков, на которых прошло разрушение и удаление пленок (рис. 1.18, [27]).

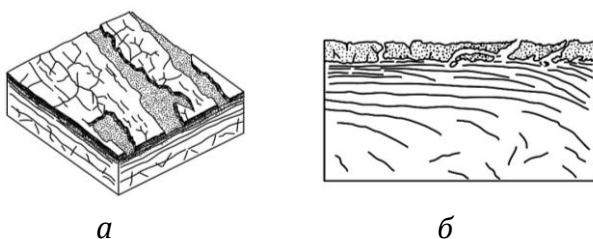


Рисунок 1.18 – Схема строения и выноса с поверхности хрупких вторичных структур 2-го рода:
a – в плане; *б* – в сечении

Температура в зоне трения ограничивается величиной 200 °С; при более высокой температуре происходит размягчение металла и десорбция смазки с поверхности, т.е. активизируются процессы, которые приводят к схватыванию II рода.

Механизм изнашивания защитных слоев 2-го рода состоит в возникновении в пленках отдельных субмикротрещин, которые затем развиваются и приводят к отслоению пленок с поверхности металла.

Разрушению оказывает содействие повышенная хрупкость структур 2-го рода, напряжения в слое, обусловленные разным удельным объемом окисла и металла, а также отсутствие достаточно прочного соединения пленки с основой (на что указывает четкая граница раздела между окисным слоем и основой).

Основные характеристики вторичных структур приведены в таблице 1.2, [24]).

Структуры 1-го рода чаще возникают на термообработанных сталях и чугунах, в особенности после дополнительного применения упрочняющих технологий.

Повышенная прочность сталей и чугунов предопределяет их малую активацию (т.е. пластическую деформацию) во время трения. Повышенной склонностью к образованию пленок 2-го рода отличаются цветные сплавы.

Благодаря низкой прочности и повышенной химической активности цветные сплавы достаточно легко деформируются и интенсивно пассивируются, соединяясь с кислородом и другими компонентами среды.

Таблица 1.2

Характеристики вторичных структур при окислительном изнашивании

Характеристика	Форма вторичных структур	
	1-го рода	2-го рода
Класс чистоты поверхности	10–14	9–13
Глубина слоя, который разрушается	10–14 нм	10–100 нм

Температура поверхностного слоя	До 100 °С	До 200 °С
Повышение твёрдости относительно основного металла	2–3 раза	4–5 раз
Коэффициент повышения объёма поверхностного слоя	1,0–1,05	1,05–1,08
Разрушение поверхностного слоя	Вязкое	Вязко-упругое
Скорость изнашивания	До 0,1 мкм в час	До 0,05 мкм/ч

Структуры 1-го рода чаще возникают на термообработанных сталях и чугунах, в особенности после дополнительного применения упрочняющих технологий.

Повышенная прочность сталей и чугунов предопределяет их малую активацию (т.е. пластическую деформацию) во время трения. Повышенной склонностью к образованию пленок 2-го рода отличаются цветные сплавы.

Благодаря низкой прочности и повышенной химической активности цветные сплавы достаточно легко деформируются и интенсивно пассивируются, соединяясь с кислородом и другими компонентами среды.

Возникновение пленок 2-го рода также характерно и для твердых подшипниковых сталей в условиях трения качения (рис. 1.19, [24]).



а



б



в

Рисунок 1.19 – Вид поверхности трения подшипника гидронасоса, покрытой пленками 2-го рода:
а – внешний вид цапфы; *б* – микрофотография, $\times 300$;
в – субмикрофотография, $\times 20000$

Образование пленок того или другого рода зависит от типа материалов, наличия и типа смазки, а также условий трения. Если трение происходит при малых скоростях скольжения и малых нагрузках, на поверхности возникают вторичные структуры 1-го рода.

По мере возрастания удельной работы трения, вычисляемой как $A = PV\mu$, повышается интенсивность структурно-термической активации поверхности и осуществляется переход от структур 1-го рода к структурам 2-го рода; при этом дальнейший рост A приводит к повышению содержания кислорода в соединении, окислы становятся более стабильными, а затем к образованию соединений стехиометрического состава (на сплавах железа – Fe_2O_3 , Fe_3O_4).

Такое изменение строения защитных вторичных слоев наблюдается при переходе от граничного трения к сухому. Наличие масляной пленки между поверхностями при граничном трении обеспечивает перераспределение нагрузки и более равномерную деформацию поверхности; последняя сосредоточивается в очень тонких поверхностных слоях, приводя к их текстурированию и аморфизации.

Активированные таким образом поверхностные слои взаимодействуют с кислородом (пассивируются), а степень этого взаимодействия контролируется экранирующим действием смазочного материала. Масло препятствует доступу ки-

кислорода к поверхности, поэтому в активированных слоях металла возникают ненасыщенные кислородом структуры: метастабильные твердые растворы и тонкие эвтектики (подвижные, хорошо сцепленные с поверхностью пленки 1-го рода).

При сухом трении посредством действия сил адгезии усиливается деформация поверхности, т.е. повышается ее активация, что стимулирует процесс пассивации (насыщение поверхности кислородом), при этом ничто не препятствует доступу кислорода к месту контакта.

В результате насыщения поверхности деталей (при трении) кислородом возникают защитные слои 2-го рода, более насыщенные активными компонентами среды. Сначала, при недостаточно большом уровне энергии трения, структуры 2-го рода представляют собой химические соединения нестехиометрического состава и имеют хорошие защитные свойства.

По мере повышения давления или скорости скольжения количество кислорода в пленках возрастает, т.е. они становятся более пассивированными (более насыщенными кислородом), что, в свою очередь, неизбежно приводит к дополнительному возрастанию удельного объема пленок. По этой причине в них возникают дополнительные напряжения, которые являются причиной снижения адгезии окисных пленок и тем самым ухудшается сцепление с основным металлом.

Сами пленки становятся толстыми, рыхлыми, падает их прочность, возрастает хрупкость; они довольно легко разрушаются и удаляются с поверхности.

Постепенно, с ростом работы трения, структуры 2-го рода теряют защитные качества, а сам факт их образования вызывает повышение интенсивности окислительного изнашивания. В таблице 1.3 приведены данные свойств защитных структур, возникающих на стали 45 при граничном и сухом трении [24].

Окислительное изнашивание фиксируют на калибрах, деталях шарнирно болтовых соединений, металлических колесах фрикционных передач и т.п. (рис. 1.20, [24]).

Кроме окислительных пленок, защитные пленки могут иметь неокислородное происхождение, т.е. быть по составу серовитными, сульфидными, фосфидными и т.п.

Таблица 1.3

Свойства защитных структур, возникающие на стали 45 при граничном и сухом трении

Характеристика структуры	Граничное трение (структуры 1-го рода)	Трение без смазки (структуры 2-го рода)
Толщина пленки	0,01–0,03 мкм	10–100 мкм
Содержание O ₂	1–10 %	20–30 %
Тип соединения, внешние признаки	Твердые растворы и эктектики, стекловидные, бледно-матовые, субмикротрещины, волнистость поверх-	Окислы, цвет окислов металла, трещины, класс чистоты 9–10 на пленке; 6–7 под пленкой

	ности, класс чистоты 10–14 на пленке; 9–12 под пленкой	
Скорость изнашивания	Не более 0,01 мкм на 1000 м пути трения	10 мкм на 1000 м пути трения
Микротвердость	1000–1200 HV	800–930 HV

Третья разновидность механизмов окислительного изнашивания – механохимическая форма абразивного изнашивания. Она имеет общие черты с чисто абразивным изнашиванием (т.е. режущее, царапающее воздействие твердых частиц), но отличается от него тем, что абразивные частицы внедряются неглубоко, поэтому они в состоянии удалить с поверхности не микрочастицы металла, а лишь тонкую окисную пленку. Следовательно, потеря массы детали от такого вида изнашивания будет минимальна.

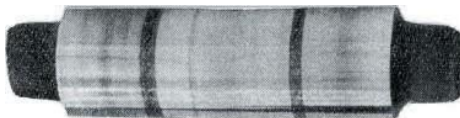


Рисунок 1.20 – Внешний вид деталей, работающих в условиях окислительного износа

Окислительное изнашивание возникает при наличии на поверхностях трения защитных пленок, образовавшихся в результате взаимодействия материала с кислородом. Окислительное изнашивание характеризуется протеканием одновременно двух процессов – пластической деформации микроскопических объемов металла поверхностных слоев деталей и диффузии кислорода воздуха в деформируемые слои.

На первой стадии износа окисление происходит в небольших объемах металла, расположенных у плоскостей скольжения при трении. На второй стадии окисление захватывает большие объемы поверхностных слоев, и глубина его соответствует глубине пластической деформации. На первой стадии износа на поверхности трущихся деталей образуются пленки твердых растворов кислорода, на второй – химические соединения кислорода с металлом. Процесс окислительного изнашивания происходит в тонких поверхностных слоях и условно может быть разделен на три этапа:

- деформирование и активизация;
- образование вторичных структур;
- разрушение вторичных структур.

На первом этапе происходит особый вид пластической деформации – текстурирование и резкая активизация металла. На втором этапе благодаря наличию в зоне трения агрессивных компонентов среды происходит физико-химическое взаимодействие их с активизированным слоем – образование вторичных структур. На третьем этапе в результате многократного нагружения и внутренних напряжений в пленках вторичных структур происходит образование и развитие микротрещин, ослабление связей на поверхности раздела и отслаивание пленки.

Последующее механическое воздействие приводит к разрушению и износу пленки. На обнаженных участках процесс повторяется вновь. Окислительному износу подвергаются шейки коленчатого вала, гильзы цилиндров, поршневые

пальцы, зубчатые зацепления и другие детали, работающие при трении скольжения.

1.3.8. Изнашивание при фреттинг-коррозии

Фреттинг-коррозия – это процесс разрушения плотно контактирующих поверхностей пар металл–металл или металл–неметалл при их колебательных перемещениях в условиях воздействия коррозионной среды.

Для возбуждения фреттинг-коррозии достаточны перемещения поверхностей с амплитудой 0,025 мкм. Разрушение заключается в образовании на соприкасающихся поверхностях мелких язв и продуктов коррозии в виде налета, пятен и порошка. Этому виду изнашивания подвержены не только углеродистые, но и коррозионностойкие стали в парах трения сталь–сталь (могут быть как одноименные, так и разноименные стали), сталь–олово или алюминий, сурьма, а также чугуны и многие другие пары трения.

Фреттинг-коррозия развивается в болтовых соединениях, посадочных поверхностях подшипников качения, листовых рессорах, шестернях, муфтах и т.д. Она возникает в результате непрерывного разрушения защитной оксидной пленки в точках подвижного контакта.

Вследствие малой амплитуды перемещения соприкасающихся поверхностей повреждения сосредоточиваются на небольших площадках действительного контакта. Продукты изнашивания не могут выйти из зоны контакта, в результате чего возникает высокое давление и увеличивается их абразивное действие на основной металл.

При фреттинг-коррозии несмазанных поверхностей относительная скорость движения соприкасающихся поверхностей небольшая. Так, в случае гармонических колебаний с амплитудой 0,025 мм и частотой 50 с^{-1} максимальная скорость составляет 7,5 мм/с, а средняя – 2,5 мм/с. Если амплитуда колебательного движения большая (около 2,5 мм), то площадь поражения фреттинг-коррозией увеличивается и изнашивание происходит как при однонаправленном скольжении. Поэтому можно считать, что амплитуда перемещения поверхностей около 2,5 мм является верхним пределом амплитуды для возбуждения фреттинг-коррозии.

Фреттинг-коррозия осуществляется также в вакууме, в среде кислорода, азота и гелия. Интенсивность изнашивания при фреттинг-коррозии в атмосфере воздуха выше, чем в вакууме и в среде азота, а в кислороде больше, чем в гелии. Таким образом, фреттинг-коррозия представляет собой вид разрушения металлов и сплавов в малоагрессивных и неагрессивных коррозионных средах при одновременном воздействии механических и химических факторов.

Язвы и продукты коррозии на сопряженных поверхностях валов и напрессованных на них дисков, колес, муфт и колец подшипников качения, осях и ступицах колес подвижного состава железных дорог, запрессованных в картерах, вкладышах подшипников, пригнанных поверхностях шпонок и их пазов, центрирующих поверхностях шлицевых соединений, опорах силоизмерительных устройств, опорных поверхностях пружин, затянутых стыках, в заклепочных соединениях

между листами, на заклепках и болтах, в отверстиях и т.п. – результат проявления фреттинг-коррозии.

Продукты фреттинг-коррозии накапливаются в виде порошков, содержащих металлические частицы. В случае удаления порошков из зоны трения происходит ослабление посадок с натягом.

Необходимые для протекания данного процесса относительные микросмещения сопряженных поверхностей совершаются вследствие деформации деталей под нагрузкой и вибрации их, а также колебаний, происходящих в упругих системах. Повреждения поверхностей вследствие фреттинг-коррозии служат коцентраторами напряжений и снижают предел усталости.

При фреттинг-коррозии протекают следующие процессы. Под действием сил трения кристаллическая решетка поверхностных слоев при циклических тангенциальных смещениях расшатывается и разрушается. Процесс разрушения представляет собой диспергирование поверхности без удаления продуктов изнашивания. Оторвавшиеся частицы металла подвергаются быстрому окислению. Дополнительным источником повреждения поверхностей может явиться возникающее местами схватывание сопряженных металлов.

Упрощенная схема процесса фреттинг-коррозии в начальной фазе такова: перемещение и деформация поверхностей под действием переменных касательных напряжений – коррозия — разрушение окисных и других пленок – обнажение чистого металла и местами схватывание – разрушение

очагов схватывания и адсорбция кислорода на обнаженных участках.

Образование окисных пленок на металлической поверхности или продуктов изнашивания в виде окислов изменяет характер протекания процесса, который начинает определяться не только физико-химическими свойствами материалов пары трения в исходном состоянии, но и природой окислов и других образовавшихся химических соединений. Окислению металла сопутствует увеличение объема.

При наличии в сопряжении замкнутых контуров это приводит к местному повышению давления, что способствует повышению интенсивности изнашивания и возникновению питтинга. Окислы оказывают абразивное действие, которое зависит от прочности сцепления окисных пленок с основным металлом, твердости окислов и размеров их частиц в продуктах изнашивания. Твердость окислов металлов, как правило, больше твердости чистых металлов.

Механизм изнашивания при фреттинг-коррозии в упрощенном виде показан на рис. 1.21.

Первоначальное контактирование деталей происходит в отдельных точках поверхности I.

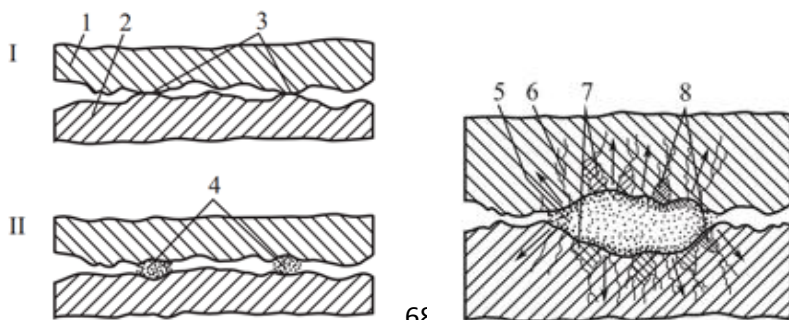


Рисунок 1.21 – Механизм изнашивания металлических поверхностей при фреттинг-коррозии [24]:

1, 2 – контактирующие детали; 3 – точки контакта поверхностей; 4 – мелкие зарождающиеся каверны; 5 – общая большая каверна; 6 – трещины; 7 – отколовшиеся объемы металла; 8 – отколовшиеся частицы с твердой структурой

При вибрации окисные пленки в зоне фактического контакта разрушаются, образуются небольшие каверны, заполненные окисными пленками II, которые постепенно увеличиваются в размерах и сливаются в одну большую каверну III. В ней повышается давление окисленных частиц металла, образуются трещины. Некоторые трещины сливаются и происходит откалывание отдельных объемов металла. Частицы окислов производят абразивное воздействие. В результате действия повышенного давления и сил трения частиц окислов повышается температура и происходит образование белых твердых нетравящихся структур в отколовшихся частицах и на поверхности каверн.

Повреждения поверхностей вследствие фреттинг-коррозии служат концентраторами напряжений и снижают предел усталости. Иногда усталостные трещины из-за фреттинг-коррозии появляются на валах под напрессованными деталями в местах, расположенных вдали от расчетных опасных сечений.

Контактирующие поверхности повреждаются из-за фреттинг-коррозии и в то время, когда машина не работает

из-за вибрации, возбуждаемой работающими механизмами. Подобное явление возможно и при перевозке машин.

Примером механизма фреттинг-коррозии служит один из случаев повреждения фланца корпуса агрегата двигателя – вспучивание материала (рис. 1.22, [31]). Повреждения по плоскости фланца расположены вблизи шпилек и характеризуются большой пластической деформацией. Материал фланца в местах повреждения находится как бы в расплавленном состоянии и покрыт темной оксидной пленкой.

Твердость окислов Al_2O_3 может превосходить твердость азотированной стали, что объясняет странный на первый взгляд факт разрушения при фреттинг-коррозии твердых сплавов и сильного разрушения закаленной хромистой стали при трении о них алюминия. Напротив, хромистая сталь при трении о цинк и медь, т.е. о металлы с большей, чем у алюминия, твердостью, повреждается меньше вследствие малой твердости окислов цинка и меди. Вместе с тем медь изнашивается значительно медленнее цинка не столько в результате большей твердости, сколько вследствие того, что окисные пленки меди прочно сцепляются с основой и образуют плотный слой, защищающий основной металл.

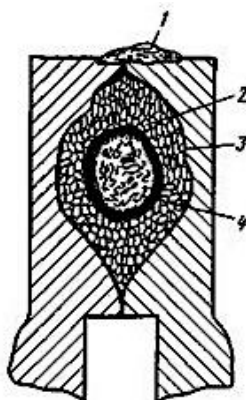


Рисунок 1.22 – Фланец агрегата двигателя:
1 – вспучивание материала на торце фланца;
2 – оксиды; 3 – язвы; 4 – шарик внутри язвы

Внедрение твердых окислов олова и алюминия в мягкие металлы может значительно уменьшить их дальнейший износ. Крупный размер частиц окислов способствует повышению интенсивности изнашивания. В паре алюминий–закаленная хромистая сталь, в частности, где сталь сильно изнашивается, размер частиц корунда 10 мкм.

Свободный графит в серых чугунах, контактирующих без смазочного материала, не снижает скорости изнашивания при фреттинг-коррозии. По-видимому, графит не обеспечивает эффективного смазывания в этих условиях, а структуру ослабляет. Перлитные чугуны в контакте друг с другом менее подвержены повреждению, чем ферритно-перлитные. Большая твердость является благоприятным фактором. Фосфидная эвтектика упрочняет ферритно-перлитные чугуны. При фреттинг-коррозии возможно образование и белых слоев в результате диффузии азота или углерода из продуктов раз-

ложения масла. В результате схватывания и пластической деформации могут образовываться наплывы материала.

С увеличением давления, а в особенности амплитуды относительных смещений, скорость изнашивания при фреттинг-коррозии возрастает. Такой рост при повышении давления обусловлен увеличением площади контакта, поражаемой коррозией. Повышение частоты перемещений ускоряет изнашивание, но, начиная с некоторой частоты, снижается активность факторов, протекающих во времени (окислительные процессы, наклеп и др.) и рост скорости изнашивания уменьшается.

Универсальных средств борьбы с фреттинг-коррозией нет. Поскольку нельзя исключить взаимное микросмещение поверхностей вследствие упругости материала, то для борьбы с фреттинг-коррозией следует:

- уменьшить микросмещения;
- снизить силы трения;
- сосредоточить скольжение в промежуточной среде.

Уменьшить относительные микросмещения можно путем придания деталям соответствующей конфигурации или посредством повышения силы трения. Например, известно, что применение разгружающих выточек в ступицах повышает предел выносливости валов и осей. Повышение давления может быть действенным, если проскальзывание поверхностей значительно снизится и будет скорее субмикроскопического, чем микроскопического характера; в противном случае – результаты будут прямо противоположны ожидаемым.

Шероховатость поверхностей может длительно влиять на коэффициент трения, если один из элементов пары не является металлом. Другой метод увеличения силы трения состоит в нанесении на поверхность электролитического слоя меди, олова, кадмия, серебра или золота. Сила трения возрастает за счет повышения фактической площади контакта сопрягаемых деталей. Например, можно исключить фреттинг-коррозию между литым алюминиевым картером и корпусом подшипника с помощью лужения. Кадмирование вкладышей, болтов и других деталей для защиты от коррозии и фреттинг-коррозии широко распространено в авиационной и автомобильной промышленности. Однако при значительных микросмещениях такие покрытия сами подвергаются фреттинг-коррозии и быстро изнашиваются.

Если исключить вибрацию невозможно, то ослабить повреждение поверхностей можно путем снижения силы трения или перенесения скольжения в промежуточную среду. Для снижения удельной силы трения достаточно понизить давление или уменьшить коэффициент трения. В условиях фреттинг-коррозии обычные смазочные материалы не влияют на коэффициент трения, т.к. граничная пленка в процессе работы не пополняется и быстро разрушается. Дисульфид молибдена в виде порошка или пасты уменьшает повреждения, но, по-видимому, он не является универсальным средством.

Аналогично действуют свинцовые белила или их смесь с MoS_2 . Фосфатированная поверхность, обработанная

водной эмульсией масла или покрытая парафином, уменьшает силы трения.

Свинцовые и индиевые покрытия при малом сопротивлении сдвигу играют роль твердых смазочных материалов. Хотя сила трения при этом и уменьшается, основное назначение покрытий состоит в перенесении процесса смещений вовнутрь покрытия. Все покрытия срабатываются, большая или меньшая их эффективность определяется сроком службы.

Хорошую сопротивляемость фреттинг-коррозии оказывают пары сталь–политетрафторэтилен или полиамиды. Действенным средством могут стать резиновые прокладки. Наконец, уменьшить повреждение от фреттинг-коррозии можно, повышая твердость одной детали. При увеличении твердости стали уменьшается взаимное внедрение деталей, что снижает интенсивность изнашивания; кроме того, продукты изнашивания в этом случае меньше размером и их абразивное действие слабее. Закалка и азотирование полезны; хромирование не предотвращает и, вероятно, не уменьшает повреждения из-за высокой твердости окисла хрома.

При фреттинг-коррозии наблюдается изнашивание посадочных поверхностей подшипников поворотных цапф, шестерен, болтовых и заклепочных соединений деталей.

Процесс фреттинг-коррозии можно считать пограничным между процессами химической коррозии и эрозии, поскольку интенсивность фреттинг-коррозии повышается с увеличением доступа кислорода, но уменьшается при увлажнении воздуха.

Окислительное и изнашивание при фреттинг-коррозии относятся к коррозионно-механическим видам изнашивания, которые происходят при трении материалов, вступающих в химическое взаимодействие со средой.

1.3.9. Пластические деформации и разрушения

Пластическим деформациям или разрушениям иногда предшествует механическое изнашивание, приводящее к изменению геометрических размеров и сокращению запасов прочности детали.

Пластические деформации и разрушения связаны с достижением или превышением пределов текучести или прочности соответственно у вязких (сталь) или хрупких (чугун) материалов. Обычно этот вид разрушений является следствием либо ошибок при расчетах, либо нарушений правил эксплуатации (перегрузки, неправильное управление автомобилем, дорожно-транспортные происшествия и т.п.).

Взаимное контактирование деталей происходит на вершинах волн и выступах поверхностей, образованных макронеровностями (рис. 1.23, [24]).

Первыми в контакт вступают противостоящие друг другу на сопряженных поверхностях выступы, сумма высот которых наибольшая. Деформация неровностей вызывает сближение поверхностей.

По мере увеличения нагрузки поверхности все более сближаются и в контакт вступают выступы с меньшей суммой высот. Разновременность вхождения в контакт выступов,

различающихся по высоте, дифференцирует их напряженное состояние и деформацию.

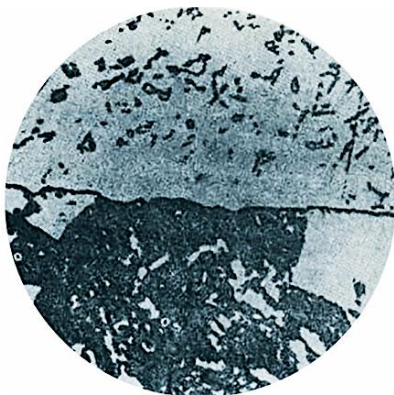


Рисунок 1.23 – Участок сечения поверхности соприкосновения стали (вверху) и баббита(внизу) при сжатии (x30) под давлением 3 МПа

Возможны следующие деформации выступов: упругая и упругопластическая с различной степенью упрочнения.

При первичном нагружении чисто упругая деформация неровностей возможна только у эластичных тел, например, резины; упругая деформация превалирует при контактировании особенно гладких твердых металлических поверхностей.

В большинстве случаев первичного нагружения пластической деформации принадлежит ведущая роль в формировании фактической площади контакта. Входящие в касание выступы пластически сплющиваются, чаще всего с внедрением: внедряется более твердый выступ или тот, которому геометрическая форма придает большее сопротивление деформации.

Пластическая деформация выступов микронеровностей и их взаимное внедрение начинаются при среднем давлении на контакте, равном примерно утроенному пределу текучести материала. Предельное среднее давление на площадях фактического контакта с учетом упрочнения материала в процессах пластической деформации достигает двух-трехкратного значения его твердости при вдавливании. При этом давлении материал под контурной площадкой, деформировавшийся упруго, начинает деформироваться пластически, в результате либо увеличиваются размеры площадки за счет частичного погружения находящихся в контакте выступов и поднятия других с вступлением их в контакт, либо возникают новые площади контакта. Полное погружение выступов в пластически деформированную основу не наблюдается. После даже сильной деформации шероховатость поверхностей лишь несколько видоизменяется.

Площадь фактического контакта поверхностей состоит из множества дискретных малых площадок, расположенных на различных высотах пятен касания в местах наиболее полного сближения поверхностей. Между площадками касания тел имеются соединенные между собой или закрытые микрополости, заполненные воздухом или другой газовой средой, смазочным материалом, продуктами изнашивания и т.п.

Площадь фактического контакта зависит от микро- и макрогеометрии поверхностей, волнистости, физико-механических свойств поверхностного слоя, нагрузки и возрастает при увеличении нагрузки, снижении шероховатости поверхности и радиуса закругления вершин ее неровностей; не-

сколько увеличивается при большей длительности действия нагрузки. Такая площадь убывает с увеличением упругих характеристик, предела текучести материала и высоты неровностей поверхностей, а при небольшой нагрузке рост площади фактического контакта сопровождается увеличением размеров площади контакта.

При сопряжении поверхностей из двух различных материалов площадь фактического контакта определяется физико-механическими свойствами более мягкого материала и геометрией поверхности более твердого материала.

Контактирование поверхностей реальных поликристаллических твердых металлов и сплавов приводит к образованию шероховатой поверхности вследствие неоднородности деформации, т.к. они имеют разную ориентировку кристаллических зерен, выходящих на поверхность, а большинство сплавов дополнительно еще обладают неоднородностью различных структурных составляющих по твердости и строению фаз. В результате на отдельных площадках фактического контакта, начиная с малых нагрузок, происходит взаимное внедрение твердых составляющих и кристаллов, обращенных к поверхности «сильными» гранями, в менее твердые структурные составляющие и «слабые» грани кристаллов, например, частиц карбидов в ферритную основу.

Неоднородность металла, вызванная всевозможными включениями, сегрегацией примесей, трещинами, остаточными напряжениями и т.п., благоприятствует взаимному внедрению поверхностей. В серых чугунах, например, полости, заполненные графитом, являются преимущественно облас-

тями взаимного внедрения поверхностей. Для изнашивания поверхностей трения имеет значение не сам факт изменения их шероховатости из-за неоднородностей строения металлов, а связанное с ним взаимное внедрение поверхностей.

Глубина взаимного внедрения зависит от физико-механических свойств материалов, шероховатости поверхностей и нагрузки. Если исключить взаимное внедрение выступов поверхностей, упрочненных в результате обработки, то при малых нагрузках взаимное внедрение незначительно по глубине и имеет в основном упругий характер. Возможно также взаимное внедрение поверхностей при контактировании металла с неметаллом, т.е. неоднородность строения свойственна всем материалам, в т.ч. и аморфным.

Вызванные деформацией изменения
закljučаются в следующем:

1. Многократные упругие деформации из-за несовершенства структуры материала приводят в определенных условиях к усталостному выкрашиванию поверхностей качения, а многократные упругие деформации микронеровностей поверхностей скольжения вызывают образование и скопление вакансий и дислокаций, постепенно формирующих зародыши микротрещин.
2. Пластическое деформирование изменяет структуру поверхностного слоя металлических материалов посредством действия четырех наиболее важных элементарных процессов: скольжения по кристаллографическим плоскостям (скольжение в отдельных зернах поликристаллического тела происходит обычно по нескольким плоскостям,

число которых возрастает с повышением напряжения); двойникования кристаллов; отклонения атомов от правильного расположения в решетке и их теплового движения; разрушения структуры. Разрушение структуры – это заключительный этап пластической деформации по мере накопления дефектов кристаллического строения (пограничных и внутризеренных дислокаций и вакансий, двойников деформации и дефектов упаковки при возрастании уровня или многократного повторения циклов напряжения. В итоге происходит ослабление, разрыхление, а в дальнейшем и формирование микропор и микротрещин.

3. Пластическая деформация при температуре ниже температуры рекристаллизации приводит к наклепу (упрочнению) поверхностного слоя. Однако у самой поверхности структура несколько ослаблена из-за появления микропор, микротвердость понижается, достигая максимума на некоторой глубине, далее уменьшаясь до исходной.
4. При сильно отличающихся по твердости структурных составляющих материала и многократном воздействии нагрузки происходит вначале интенсивное изнашивание мягкой основы, вследствие чего повышается давление на выступающие твердые составляющие, они вдавливаются в мягкую основу, некоторые из них дробятся и перемещаются дополнительно под действием сил трения. В результате такого избирательного изнашивания поверхность обогащается твердыми структурными составляющими и приобретает строчечную структуру, что было обнаружено М.М. Хрущевым и А.Д. Курицыной при износе баббита.

Влияние повышения температуры

состоит в следующем:

1. Если по условиям службы пары трения температура поверхностных слоев выше температуры рекристаллизации металла, то поверхностный слой не наклепывается, а пребывает в состоянии повышенной пластичности, размягчения – происходит выглаживание поверхности за счет растекания всего металла или только одной структурной составляющей сплава.
2. Высокая температура и пластическая деформация способствуют диффузионным процессам; в итоге возможно обогащение поверхности некоторыми элементами (например, поверхности стали углеродом), коагуляция отдельных структурных составляющих, взаимное диффузионное растворение материалов деталей пар трения.
3. При интенсивном локальном повышении температуры (температурной вспышке) и последующем резком охлаждении поверхности нижележащей холодной массой металла на поверхности могут образоваться структуры закалки. Этому способствует высокое давление (от нагрузки), снижающее температуру фазовых превращений.
4. Возможные высокие температурные градиенты и структурные превращения, каждое в отдельности или совместно, вызывают напряжения в материале, которые могут влиять на его пластическую деформацию и разрыхление.
5. При микроскопическом исследовании контакта деталей в условиях высоких нагрузок и температур установлена возможность образования магмы-плазмы (рис. 1.24, [24]).

Взаимодействие микроконтактов происходит за очень короткий промежуток времени (10^{-8} – 10^{-7} с), в течение которого к контакту подводится большая энергия. Для таких условий законы классической термодинамики не выполняются. Материал тонкого поверхностного слоя преобразуется, в результате чего в зоне соударения неровностей образуется магма-плазма; процесс сопровождается эмиссией электронов.

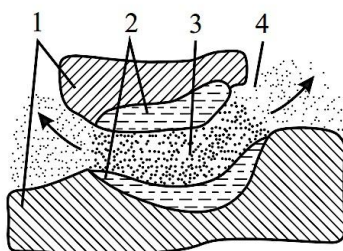


Рисунок 1.24 – Модель магмы-плазмы:

1 – исходная структура; 2 – расплавленная структура;

3 – плазма; 4 – электроны, движущиеся при трибоэмиссии (по Д.Н. Гаркунову)

Деформация металла в зоне контакта сопровождается выделением тепла, вследствие чего поверхностные слои нагреваются.

Температура нагрева определяется интенсивностью выделения тепла и скоростью отвода его из зоны трения. Интенсивность тепловыделения в отдельном пятне касания определяется соотношением

$$g = fNv/(AJ),$$

где f – коэффициент трения; N – нормальная нагрузка; v – скорость скольжения; A – площадь пятна; J – механический эквивалент тепла.

При трении различают:

- температуру на единичном пятне контакта (температуру вспышки);
- среднюю температуру поверхности;
- среднюю объемную температуру;
- предельную суммарную температуру на поверхности трения.

На пятнах фактического контакта, размеры которых порядка 1–10 мкм, возникают температурные вспышки (импульсы) длительностью 10^{-4} – 10^{-8} с.

Возникающие температурные вспышки (импульсы температур) могут достигать значений температуры плавления контактирующих металлов, оказывая большое влияние на дополнительное возникновение и развитие трибохимических реакций между поверхностью металла и окружающей средой.

Расчет и экспериментальное измерение температуры вспышки весьма сложны.

Средняя температура поверхности характеризует температурные условия в объемах и на участках поверхности, соизмеримых по величине с размером зерен (порядка 10–100 мкм). В случае контакта одинаковых материалов при круговой форме площадки касания средняя температура поверхности может быть определена по формуле

$$t_{\text{cp}} = \frac{9fNv}{64J\lambda a},$$

где λ — коэффициент теплопроводности материала; a — радиус площадки касания.

Объемная температура характеризует температурные условия в объемах поверхностного слоя материала размером 0,1–1,0 мм и более. Объемную температуру определяют экспериментально с помощью микротермопар.

Предельная температура на поверхности трения t_{Σ} определяется как сумма температуры вспышки $t_{\text{вс}}$ и средней температуры поверхности t_{cp} :

$$t_{\Sigma} = t_{\text{вс}} + t_{\text{cp}}.$$

Большое количество дефектов кристаллического строения в поверхностных слоях трущихся тел, а также повышенные температуры обуславливают интенсивное развитие диффузионных процессов, приводящих к изменению структуры, химического и фазового состава материалов. Физико-химическое взаимодействие поверхности металла с окружающей средой приводит к образованию пленок так называемых вторичных структур. Вторичные структуры, например оксиды, обладая высокой прочностью, теплостойкостью, пониженной теплопроводностью, хорошо защищают поверхность основного материала от разрушения и способствуют развитию нормального изнашивания.

1.3.10. Кавитационное изнашивание

Под кавитацией (от латинского слова *cavitas* – пустота) понимают явление образования в движущемся по поверхно-

сти твердого тела потоке жидкости полостей в виде пузырей, наполненных парами, воздухом или газами, растворенными в жидкости и выделившимися из нее. В движущемся с большой скоростью потоке при сужении и наличии препятствий на его пути давление может упасть до значения, соответствующего давлению парообразования при данной температуре. При этом, в зависимости от сопротивления жидкости растягивающим усилиям, может произойти разрыв, нарушение сплошности потока.

Образующаяся пустота заполняется паром и газами, выделившимися из жидкости. Воздух, вовлекаемый в поток, облегчает возникновение кавитации. Образовавшиеся парогазовые пузыри размерами порядка десятых долей миллиметра, перемещаясь вместе с потоком, попадают в зоны высоких давлений. Пар конденсируется, газы растворяются и образовавшиеся пустоты с большим ускорением устремляются частицы жидкости; происходит сопровождаемое гидравлическим ударом о поверхность восстановление сплошности потока (рис. 1.25, [24]).

Гидродинамическая кавитация наблюдается в трубопроводах и потоках, обтекающих гильзы блока цилиндров ДВС. Явление кавитации вызывает вибрации, стуки и сотрясения, что приводит к расшатыванию крепежных связей, обрыву болтов, смятию резьб, фрикционной коррозии стыков, нарушению уплотнений и усталостным повреждениям. Кавитация понижает КПД машин и вызывает непосредственное разрушение поверхностей деталей в зоне ее действия в виде

ямок, сливающихся в микрокаверны на внешней поверхности гильз цилиндров (рис. 1.26).

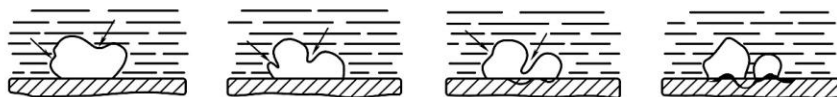


Рисунок 1.25 – Схема гидравлических ударов при сокращении кавитационного пузыря [24]

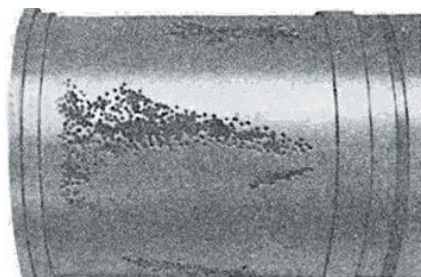


Рисунок 1.26 – Внешний вид изношенной кавитацией гильзы дизельного двигателя внутреннего сгорания [24]

Высокая способность марганцевого аустенита к упрочнению была использована при разработке хромомарганцевых метастабильных аустенитных сталей (МАС) с высокой кавитационной стойкостью. Наибольшим сопротивлением кавитационному разрушению обладают МАС на хромомарганцевой основе, которые под влиянием микроударов быстро текущей воды претерпевают мартенситное превращение на рабочей поверхности деталей, обуславливая интенсивное упрочнение и высокую кавитационную стойкость.

На основе принципа метастабильности хромомарганцевого аустенита в УрФУ (г. Екатеринбург) разработана группа кавитационно-стойких МАС 30X10Г10, 03X14АГ12М и др.

(табл. 1.4, [28]), обладающих активной кинетикой образования мартенсита при деформации и высокой способностью к упрочнению. Эти стали должны подвергаться несложной термообработке – закалке от 1050–1100 °С в воде.

Таблица 1.4

**Механические свойства и кавитационная стойкость
аустенитных сталей**

Марка стали	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ	КСУ, МДж/м ²	Потери массы за 10 ч испытаний, мг
	МПа		%			
12Х18Н10Т	330	620	44	52	2,4	1250
30Х10Г10	340	790	16	9	1,2	15
03Х14АГ12М	450	955	45	49	2,8	150
20Х13Н3Г4	320	1530	24	15	2,3	40

Хромомарганцевоникелевые МАС имеют лучшие пластические свойства, коррозионную стойкость, технологические свойства и свариваемость, чем сталь 30Х10Г10, за счет некоторого снижения кавитационной стойкости.

В одинаковых условиях кавитационная стойкость стали 20Х12Н3Г4 приближается к стойкости стали 30Х10 Г10, а стойкость стали 03Х13Н3Г4 – к стойкости стали 03Х14АГ12М. По кавитационной стойкости метастабильные аустенитные стали тоже на порядок превосходят относительно стабильную в этих условиях сталь 12Х18Н10Т (рис. 1.27, [28]). Такая же зависимость и для стойкости при гидроабразивном изнашивании.

Представления об использовании для повышения служебных свойств метастабильной структуры развиты впоследствии многими исследователями, применившими синергети-

ческие представления в материаловедении и показавшими всеобщность явления структурной приспособляемости материалов, самоорганизации структуры, направленной на снижение интенсивности повреждающих факторов внешнего воздействия.

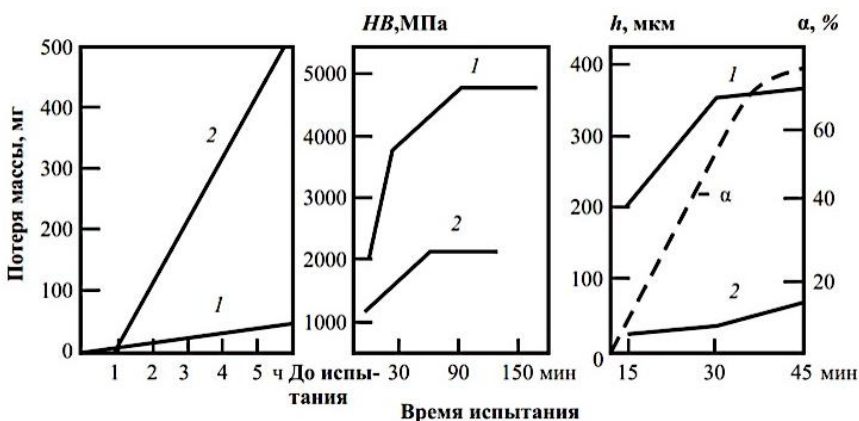


Рисунок 1.27 – Потеря массы, твердость поверхности HV, глубина наклепанного слоя h закаленных сталей 30X10Г10 (1) и 12X18Н10Т (2) и количество α -мартенсита на поверхности образцов стали 30X10Г10 (α) в процессе кавитационного воздействия при испытании на струеударном стенде (по И.Н. Богачеву и Р.И. Минцу)

МАС являются наиболее яркими представителями материалов, проявляющих свойства синергетических систем. Повышение износостойкости и усталостной прочности таких сталей в сравнении со стабильными аустенитными сталями близкого состава достигается за счет проявления эффектов от развития деформационных мартенситных превращений (ДМП) в метастабильном аустените в процессе воздействия на поверхность абразивных частиц и циклического нагруже-

ния – интенсивного упрочнения при нагружении и создания сжимающих напряжений на поверхности вследствие образования мартенситных фаз и релаксации напряжений в момент фазовых превращений (микроПНП-эффекта (ПНП – пластичность, наведенная превращением).

МАС целесообразно использовать в условиях, когда рабочая температура среды не превышает $\gamma \rightarrow \epsilon \rightarrow \alpha$ -превращений мартенсита деформаций Мд. В противном случае кавитационная, абразивная, гидроабразивная стойкость и циклическая прочность будут снижаться, что видно на примере сталей 03X14AG12M, 20X13H3G4 (табл. 1.4), однако они лучше обрабатываются резанием в сравнении со сталью 30X10Г10.

Кавитационно-стойкие МАС используют для изготовления литых деталей гидронасосов, лопастей и других деталей, работающих в условиях изнашивания при кавитации, а также выпускают в виде электродов для защитной облицовки или наплавки деталей из углеродистых сталей как основного способа использования кавитационно-стойких МАС.

Принцип Богачева–Минца как научная основа решения проблемы повышения контактной прочности металлических сплавов, выбора материалов и режимов их термической обработки оказался плодотворным и для других видов изнашивания, однако применительно к каждому виду механического изнашивания использование положения о необходимости соблюдения правила метастабильности аустенита ($Mn < 20$ °С, или температуры эксплуатации во избежание появления хрупких кристаллов мартенсита охлаждения, $Md > 20$ °С, для обеспечения образования мартенсита деформа-

ции) конкретное наполнение этого положения должно быть разным.

Преимущества МАС системы Fe-Mn-Cr-C перед стабильными сталями близкого состава могут быть реализованы тогда, когда конкретным условиям эксплуатации (усталостное, абразивное, ударно-абразивное изнашивание, гидро-и газоабразивное, эрозионное, кавитационное, циклическое контактно-ударное воздействие) соответствует сталь определённого химического состава. При правильном выборе состава хромомарганцевого аустенита (сочетания углерода, хрома и марганца) обеспечивается благоприятная кинетика мартенситных превращений и достигаются свойства образующихся мартенситных фаз для реализации микро-ПНП-эффекта, и сильного упрочнения микрообъёмов рабочей поверхности деталей машин. Например, для сталей, способных успешно противостоять абразивному изнашиванию, содержание углерода в метастабильном аустените должно быть не менее 0,6 %, чтобы их стойкость при испытании по закреплённому абразиву достигла таковой для стали 110Г13Л. Сталь 30Х10Г10Л, имея на порядок более высокую, чем сталь 110Г13Л, кавитационную стойкость, уступает этой стали по абразивной износостойкости вследствие невысокого содержания углерода в мартенсите деформации, что не обеспечивает достаточно высокого уровня упрочнения рабочей поверхности, несмотря на активную кинетику ДМП.

В последнее время получило некоторое развитие направление разработки экономно-легированных марганцевых сталей со структурой метастабильного аустенита. Это обу-

словлено необходимостью экономии дефицитного ферромарганца и снижения остроты экологических проблем при выплавке высокомарганцевых сталей, с одной стороны, и возможностью повышения абразивной износостойкости за счёт увеличения способности к упрочнению метастабильного марганцевого аустенита при образовании мартенсита деформации – с другой.

В результате из-за снижения концентрации марганца вплоть до 7–9 % сталь становится метастабильной по отношению к развитию ДМП, вызванного воздействием абразивных частиц на рабочую поверхность отливок, что обуславливает рост абразивной износостойкости, сопровождающийся, однако, снижением ударной вязкости, особенно при отрицательных температурах. Заметно более высокую износостойкость (на 40–50 % в сравнении со сталью 110Г13Л) имеет сталь Т. Нормана с пониженным содержанием марганца – 120Г6Л, однако низкая ударная вязкость позволяет использовать эту сталь лишь в условиях чисто абразивного изнашивания. Для повышения ударной вязкости Т. Норман предложил легировать сталь 1 % Мо, однако сталь 120Г6МЛ не нашла заметного практического применения по технологическим и экономическим соображениям. На основе линейной зависимости температур $\gamma \rightarrow \varepsilon \rightarrow \alpha$ -превращений мартенсита деформаций Мд и метастабильности аустенита Мн от химического состава этих и других сталей и изучения кинетики мартенситных превращений, протекающих в процессе охлаждения и пластической деформации в широком диапазоне составов сталей, а также с учётом литературных данных по

строена концентрационная диаграмма мартенситных превращений и износостойкости сталей системы Fe-Mn-C с содержанием углерода 0,3-0,4 %, которая предоставляет возможность рационального выбора химического состава сталей, стойких в различных условиях изнашивания (рис. 1.28, [28]).

Обоснованный выбор химического состава метастабильной аустенитной марганцевой стали с повышенной по сравнению со сталью 110Г13Л износостойкостью при абразивном изнашивании с учётом снижения хладостойкости упрощенно можно, в первом приближении, сделать, используя представленную на рис. 1.28 диаграмму, включающую пограничные линии областей с различной стабильностью аустенита и границы 1–3 составов износостойких сталей с точкой метастабильности аустенита M_n выше 20 °С.

На представленной на рис. 1.28 диаграмме отмечены обозначенные римскими числами пограничные линии областей с различной стабильностью аустенита:

- JGQF-область состава стали 110Г13Л по ГОСТ 977-88;
- BEFC-область составов экономнолегированных износостойких сталей со структурой относительно стабильного аустенита;
- ABCD-область составов износостойких сталей со структурой метастабильного аустенита.

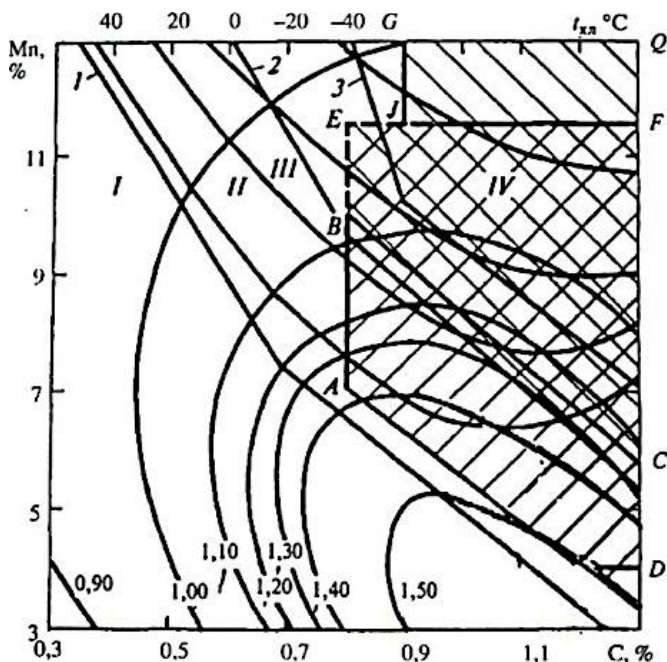


Рисунок 1.28 – Обобщённая диаграмма стабильности аустенита, абразивной износостойкости и положения условного порога хладноломкости сталей системы Fe-Mn-C: 1–3 – границы составов износостойких сталей, с точкой M_H выше 20°C (1), сталей со структурой метастабильного аустенита (2), сталей со структурой относительно стабильного аустенита (3)

В каждой из вышупомянутых областей расположены составы сталей с определённой стабильностью аустенита по отношению к мартенситным превращениям при охлаждении и протекающим на рабочей поверхности в процессе абразивного изнашивания:

– область I (ограничена линией 1, $M_H = 20^\circ\text{C}$) – стали мартенситно-аустенитного класса, в которых мартенсит присутст-

вует после охлаждения до температуры 20 °С. При равном содержании углерода стали этой группы с пониженной концентрацией марганца имеют максимальную износостойкость (до 1,5), однако низкая ударная вязкость не позволяет использовать их в условиях ударно-абразивного изнашивания;

– область II ($-196\text{ °C} < M_n < 20\text{ °C}$, ограничена линией 2, $M_n = -196\text{ °C}$) – стали переходного класса, аустенит которых частично превращается в мартенсит при охлаждении до температуры жидкого азота;

– область III ($M_n < -196\text{ °C}$, $M_d > 20\text{ °C}$, ограничена линией 3, $M_d = 20\text{ °C}$) – метастабильные аустенитные стали, мартенсит в которых образуется только деформационным путём при абразивном воздействии.

Перспективные составы сталей для работы в условиях ударно-абразивного изнашивания находятся в областях II и III (область ABEFCD на рис. 1.28) с износостойкостью, на 20–40 % превышающей износостойкость стали 110Г13Л, например, 120Г7Л. Ударная вязкость такой стали ($KCU +20\text{ °C} = 0,84\text{--}1,0\text{ МДж/м}^2$) позволяет использовать вместо стали 1ЮГ13 Л.

Сталь 110Г13Л во всём диапазоне марочного состава (область JGQF на рис. 1.28) находится в состоянии стабильного аустенита (область IV, $M_d < -196\text{ °C}$) и имеет износостойкость, принятую за эталон (1,0).

МАС – износостойкие материалы, проявляющие свойства синергетических систем при контактном нагружении. Повышение износостойкости и усталостной прочности таких сталей в сравнении со стабильными аустенитными сталями близкого состава достигается за счёт проявления эффектов от

развития интенсивного упрочнения при нагружении, создания сжимающих напряжений на поверхности вследствие образования мартенситных фаз и релаксации напряжений в момент фазовых превращений (микро-ПНП-эффекта).

Контрольные вопросы

1. Комплекс операций по восстановлению работоспособности автомобиля называется ...
2. Под отказом понимают ...
3. Какими свойствами характеризуется надёжность автомобиля?
4. Механическое сопротивление двух соприкасающихся деталей называется ...
5. Для какого вида изнашивания характерно появление микротрещин на поверхности деталей?
6. Для какого вида изнашивания характерно сцепление материала сопряжённых деталей?
7. Абразивное изнашивание возникает в результате ...
8. Для каких целей предназначена диагностика?
9. Значение параметра, соответствующего состоянию нового или капитально отремонтированного механизма.
10. Значение параметра, соответствующего состоянию механизма, при котором его дальнейшая эксплуатация возможна и допустима без восстановления до следующего контроля.
11. Значение параметра, соответствующего такому состоянию механизма, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима.

12. Качественная и количественная мера, характеризующая состояние системы, механизма, элемента и процесса в целом.
13. Поясните 3 группы, на которые разбраковывают детали при ремонте.
14. Для чего осуществляют классификацию видов изнашивания?
15. Как определить ведущий вид износа?
16. Какими параметрами характеризуется износ?
17. Как определяются износостойкость, интенсивность изнашивания, коэффициент трения?
18. В результате износа изменяются следующие параметры детали...
19. Место проведения капитального ремонта автомобилей.
20. Сохранение работоспособности до предельного состояния называется...
21. Под отказом понимают...

Часть 2. СОДЕРЖАНИЕ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

2.1. Значение процесса восстановления деталей автотранспортных средств

Сохранение парка автотранспортных средств в работоспособном состоянии объективно требует развития и совершенствования ремонтного производства. Ремонт автотранспортных средств как насущная необходимость приведения их в исправное, работоспособное состояние в перерывах между использованием по назначению состоит в устранении неисправностей и восстановлении ресурса машин. Вместе с тем, главная задача ремонтного производства заключается в экономически эффективном восстановлении надёжности машин в результате наиболее полного использования остаточной долговечности деталей их узлов и механизмов.

Предмет науки о ремонте автотранспортных средств составляют закономерности подготовки и организации ремонта машин, обеспечивающие требуемое качество восстановления работоспособного состояния отремонтированных деталей с наименьшими затратами труда и ресурсов (материальных, энергетических и др.).

Основной источник экономической эффективности ремонта заключается в обеспечении у подвергнутой восстановлению детали свойств, близких к свойствам новой детали или с учетом инновационных возможностей технико-технологического развития, превосходящих их.

Восстановление изношенных, но подлежащих реновации деталей автотранспортных средств в работоспособное состояние, является природоохранным и ресурсосберегающим производством. Так, например, на изготовление коленчатого вал автомобильного ДВС с рабочим объёмом 4,8 л расходуется 57 кг металлического конструкционного материала с повышенными эксплуатационными характеристиками, 118 МДж энергии, а масса отходов при этом равна 2,5 кг. При восстановлении эти величины имеют значения примерно в 20 раз меньше: соответственно 2,6 кг, 9,5 КДж и 0,12 кг, что несмотря на меньшую нормативную наработку в 1,5–2,5 раза в сравнении с наработкой новых деталей обеспечивает более экономически эффективное использование автотранспортных средств по назначению, а также снижение природоохранных и ресурсосберегающих затрат.

Практика показывает, что научно-обоснованные технологии и организация восстановления деталей машин позволяют достигать их нормативной выработки, сопоставимой как у новых деталей, а в отдельных случаях и превзойти наработку и работоспособность новых деталей.

Работоспособность изделия (детали) – состояние изделия, при котором оно может выполнять заданные функции с параметрами, значение которых соответствует технической документации, т.е. в интервале от нормального до предельного значения.

Неработоспособность – состояние детали, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего

способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативной документации.

Предельное состояние – состояние изделия (детали), при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Критерий предельного состояния – признак или совокупность признаков предельного состояния изделия (детали), установленные нормативной документацией.

Если при достижении предельного состояния изделие конструктивно может быть восстановлено, то оно называется восстанавливаемым. Примеры: автомобиль, агрегат, система, ряд деталей. У восстанавливаемого изделия полный ресурс значительно превосходит наработки на отказы.

Если изделие конструктивно не допускает восстановления (лампы, ремни, прокладки, накладки, провода, свечи и др.), то оно называется невосстанавливаемым. Нарботка до отказа и полный ресурс таких изделий совпадают.

Особенности ремонтных работ:

- выполняются, как правило, по достижении предельного состояния, т.е. по потребности;
- наработка до ремонта обычно превышает периодичность ТО;
- необходима частичная или полная разборка агрегата, автомобиля;
- необходимо применение достаточно сложного специального и универсального оборудования (станочное, сварочное, окрасочное и др.);

- имеют значительную трудоемкость и стоимость;
- объектом ремонта может быть весь автомобиль, агрегат, сборочная единица или деталь.

Ремонтный фонд автомобилей и агрегатов показывает, что в среднем около 20 % деталей – утильных, 25–40 % – годных, остальные 40–55 % можно восстановить. Даже процент утильных деталей можно значительно снизить, если предприятие будет располагать эффективными способами дефектации и восстановления.

Технология восстановления работоспособности деталей относится к разряду наиболее ресурсосберегающих, т.к. по сравнению с изготовлением новых деталей затраты сокращаются на величину до 70 %. Основным источником экономии ресурсосбережения являются затраты на материалы. Средние затраты на материалы при изготовлении детали составляют 38 %, а при восстановлении – 6,6 % от общей себестоимости.

Для восстановления работоспособности изношенных деталей требуется в 5–8 раз меньше технологических операций по сравнению с изготовлением новых деталей. Основное количество отказов деталей автомобиля вызвано износом рабочих поверхностей до 50 %; 17,1 % связано с повреждениями и 7,8 % вызвано появлением различных трещин. При этом доля восстанавливаемых наружных и внутренних цилиндрических поверхностей – 53 %, резьбовых – 12,7 %, зубчатых шестерен, колес – 10 %, плоских деталей – 6,5 %, все остальные детали – 6,9 %. Основное место среди всех отказов автомобиля занимает двигатель – до 43 % отказов.

Примерно 85 % деталей восстанавливают при износе не более 0,3 мм, т.е. их работоспособность восстанавливается при наплавке и нанесении покрытий незначительной величины. Наплавка и нанесение металла на несущие поверхности с последующей механической обработкой позволяют многократно использовать деталь.

Контрольные вопросы

1. Какой объём детали автомобиля может быть использован повторно только после их восстановления?
2. Какой объём деталей автомобилей, поступивших в КР, могут быть использованы повторно либо без ремонта, либо после небольшого ремонтного воздействия?
3. Какова себестоимость КР автомобиля и его составных частей?
4. Какой основной источник экономической эффективности восстановительного ремонта?
5. Главная задача ремонтно-восстановительных работ?

2.2. Технические требования к восстановленным деталям автотранспортных средств

В разделе 7.2 «Технические условия на ремонт» Межгосударственного стандарта ГОСТ 2.602–2013 «Единая система конструкторской документации «Ремонтные документы» приведен перечень технических требований, показателей и норм, которым должно удовлетворять отремонтированное изделие. Определены нормативной документацией являющиеся ограничениями значения группы (ряда) восстанавли-

ваемых свойств деталей, которые обеспечивают не менее, чем 80 % (как минимум) послеремонтной наработки детали по сравнению с наработкой новой детали.

В этом документе регламентировано состояние деталей, поступающих на сборку: чистота (в виде остаточной загрязненности) и величины шероховатости поверхностей, форма и взаимное расположение элементов детали, значения точности геометрических размеров, жесткость упругих элементов, сплошность (герметичность) стенок корпусных деталей, значения массы движущихся деталей и ее распределение относительно осей вращения и инерции. Кроме того, нормативны параметры структуры и строения материалов на восстановление изношенных деталей, значения величин их послеремонтной износостойкости, прочности, усталостной выносливости и коррозионной стойкости восстановленных поверхностей отремонтированной детали.

Контрольные вопросы

1. Каким документам должны соответствовать объем выполненных работ и комплектность автотранспортного средства?
2. Требования к запуску ДВС и его работе ...
3. В каком техническом состоянии должен быть кузов автомобиля и его составных частей, выпускаемых из ремонта?
4. Какому виду требований должно отвечать автотранспортное средство, выпускаемое из восстановительного ремонта?

2.3. Структура процесса восстановления деталей автотранспортных средств

Направленный в капитальный ремонт (КР) автотранспорт (АТ) на основании анализа результатов его технического состояния с применением средств контроля (диагностирования) с учетом пробега, суммарной стоимости израсходованных частей с начала эксплуатации, поступает на разборку, первой операцией которой является очистка АТ от эксплуатационных загрязнений.

Легковые автомобили направляются в КР при необходимости КР кузова, а грузовые – КР-рамы, кабины, а также не менее 3-х других агрегатов в любом их сочетании по составу и состоянию на основании результатов предремонтного диагностирования. Заказчик сдает в ремонт автомобиль лишь с теми неисправностями, которые возникали в результате износа, а также агрегаты, выработавшие установленный ресурс вследствие достижения предельного состояния и имеющие аварийные повреждения, которые могут быть устранены только на автомобильно-ремонтном предприятии (АРП).

Изношенная деталь ремонтного фонда на пути восстановления своей работоспособности в результате технологических воздействий на неё проходит приведенные на рис. 2.1 стадии: исходная заготовка с остаточной долговечностью, ремонтная заготовка, восстановленная деталь.



Рисунок 2.1 – Схема технологического процесса восстановления детали [33]

Параметры и характеристики технического состояния автомобильного транспорта (АТ), выработавшего установлен-

ный ресурс износа деталей узлов и механизмов, т.е. достигших предельного состояния, приведены в табл. 2.1 [34].

В КР не принимаются грузовые автомобили, если их кабины и рамы подлежат списанию, а легковые автомобили – если их кузова не могут быть восстановлены.

Таблица 2.1

Параметры и характеристики технического состояния автомобильного транспорта (АТ)

№ п/п	Физическая характеристика состояния АТ	Состояние	Износ в %
1	Новое, не зарегистрированное АТ в ГИБДД в отличном состоянии после-продажной подготовки, без признаков эксплуатации	Новое	0–10
2	Практически новое АТ на гарантии с выполненными объёмами ТО и не требующее ремонта или замены каких-либо частей	Очень хорошее	От 10 до 20
3	АТ на послегарантийном периоде эксплуатации с выполненными объёмами ТО, не требующее ремонта или замены каких-либо частей. АТ после капитального ремонта	Хорошее	От 20 до 40
4	Бывшее в эксплуатации АТ, с выполненными объёмами ТО, требующее текущего ремонта или замены некоторых деталей, имеющее незначительные повреждения лакокрасочного покрытия	Условно пригодное	От 40 до 60

Окончание таблицы 2.1

N п/п	Физическая характеристика состояния АТ	Состо- яние	Износ в %
5	Бывшее в эксплуатации АТ в состоянии, пригодном для дальнейшей эксплуатации после выполнения работ текущего ремонта (замены) агрегатов, ремонта (наружной окраски) кузова (кабины)	Условно при- годное	От 60 до 75
6	Бывшее в эксплуатации АТ, требующее капитального ремонта или замены номерных агрегатов (ДВС, кузова, рамы), полной окраски	Очень хоро- шее	До 80
7	Бывшее в эксплуатации АТ, требующее ремонта в объёме, превышающем экономическую целесообразность его выполнения; отсутствие технической возможности осуществления такового; непригодное к эксплуатации и ремонту	Пре- дель- ное	80 и более

В КР не принимаются грузовые автомобили, если их кабины и рамы подлежат списанию, а легковые автомобили – если их кузова не могут быть восстановлены.

Техническое состояние сдаваемых в КР автомобилей должно обеспечить, как правило, возможность запуска двигателя и испытание пробегом до 3 км. Автомобили, имеющие повреждения аварийного характера или неисправности, при которых запуск двигателя и движение невозможно, или может повлечь дальнейшее разрушение деталей, сдается в КР не на ходу.

Задачей технологической службы АРП по ремонту автотранспортных средств является соблюдение регламентированных нормативной документацией ограничений на значения группы (ряда) восстанавливаемых свойств деталей при наименьшем расходе материальных, трудовых и энергетических ресурсов. Рост автомобилизации страны ставит перед автомобильным транспортом ряд задач, главной из которых является совершенствование организации и технологии технического обслуживания и ремонта автомобилей для повышения качества их работы, сокращения простоев в ремонте, материальных и трудовых затрат на их содержание. Известно, что затраты на техническое обслуживание и ремонт автомобиля превышают стоимость их производства, а кроме того, в связи с ростом автомобильного парка предполагается, что в ближайшее время значительная часть трудоспособного населения страны будет использоваться в сфере эксплуатации автомобильного транспорта. В связи с этим одной из задач научно-технического прогресса является снижение трудовых и материальных затрат на техническое обслуживание и ремонт автомобилей при одновременном повышении их надёжности, что достигается совершенствованием организации производства, производственно-технической базы автотранспортных предприятий, повышением уровня автоматизации и механизации производства, совершенствованием методов управления производством, и другими мероприятиями.

ДВС и другие агрегаты АТ должны быть укомплектованы деталями, предусмотренными конструкцией. Допус-

кается отсутствие на двигателе и сборочных единицах отдельных крепежных деталей. ДВС и сборочные единицы АТ не должны иметь деталей, отремонтированных способом, исключающих их дальнейшее использование, должны быть очищены и вымыты, смазка и вода слиты. Все отверстия, через которые могут проникнуть атмосферные осадки и грязь должны быть закрыты крышками или пробками-заглушками.

Поступающие в ремонт автомобили и их составные части называют ремонтным фондом.

В результате очистки от эксплуатационных загрязнений и работ по определению технического состояния ремонтного фонда выявляют:

- утильные детали (восстановление которых технически невозможно или экономически нецелесообразно), которые помечаются красной краской;
- годные без ремонта (износ которых не превысил допустимого значения, регламентированного техническими условиями), которые помечаются зеленой краской;
- детали, требующие восстановления, которые помечаются желтой краской.

Деталям, допускающим восстановление после предремонтного диагностирования, назначается один из заранее разработанных технологических маршрутов типового технологического процесса ремонта. Схема технологического процесса централизованного ремонта автомобильных агрегатов по техническому состоянию от сочетания их дефектов по результатам дефектации АТ, предремонтного диагностирования до ремонта и приемочного контроля с выдачей готовой

продукции или устранения дефектов по результатам приемочного контроля показана на рис. 2.2 [35].

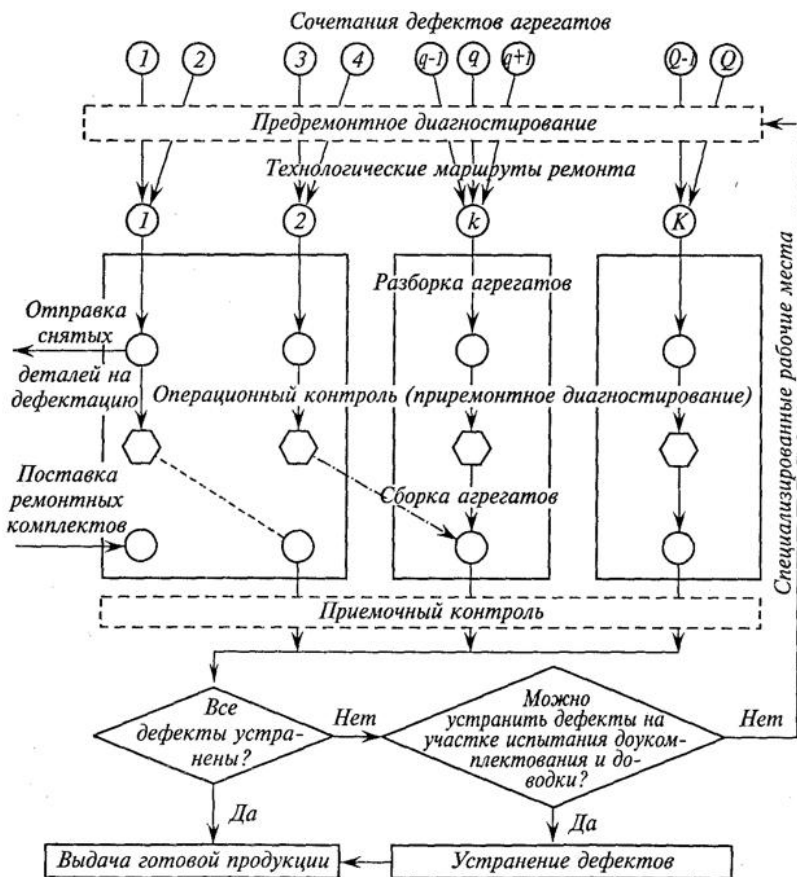


Рисунок 2.2 – Схема технологического процесса централизованного капитального ремонта автомобильных агрегатов по их техническому состоянию

Детали, которые имеют устранимые повреждения и подлежат восстановлению, выявляются, таким образом, в ре-

зультате очистки их от эксплуатационных загрязнений и диагностических работ по определению технического состояния ремонтного фонда. Такие детали являются исходными заготовками, т.е. очищенная деталь ремонтного фонда с устраняемыми повреждениями.

Исходная заготовка обычно превращается в ремонтную заготовку путём создания наплавочных, в частности, припусков на восстанавливаемых поверхностях и нанесения сварочных швов на трещины, а ремонтная заготовка – в восстановленную деталь посредством механической обработки и последующей термической и химико-термической обработки.

Технологические воздействия на восстанавливаемую деталь в общем случае образуют блоки операций: подготовку изношенных элементов под наплавку или нанесение покрытий или перераспределения материала путём его объёмного пластического деформирования; заварку трещин; размерную и структурную стабилизацию элементов восстанавливаемой детали; термическую обработку; черновую и чистовую механические обработки; поверхностное пластическое деформирование; отделку; уравнивание; очистку от технологических загрязнений; выходной контроль.

Предварительная механическая обработка придаёт правильную геометрическую форму восстанавливаемым элементам детали перед наплавкой или нанесением покрытий.

Ремонтное производство располагает множеством способов создания припусков под механическую обработку

на восстанавливаемых элементах ремонтной заготовки. Это различные виды наплавки, нанесения (напыления) покрытий и др.

Необходимая износостойкость восстанавливаемых поверхностей ремонтной заготовки достигается выбором наплавочного или напыляемого материала, условий его нанесения, а также последующей термической, химико-термической и механической обработкой. Вид и свойства сформированного поверхностного слоя должны быть совместимы со способом его обработки.

Послеремонтную надёжность восстановленной детали в основном формируется на стадии создания ремонтной заготовки. По пути следования и мере соблюдения режимов технологических операций в процессе восстановления работоспособности детали осуществляется накопление и усиление необходимых свойств детали под влиянием вкладываемых в ремонтную заготовку материалов и энергии. В свою очередь, при этом перед возможностями образования нежелательных свойств ставятся «барьеры». *Явление технологической наследственности* выражается влиянием предшествующих операций на конечные свойства восстанавливаемых деталей. Первые операции обычно влияют на эти свойства слабее, чем заключительные, финишные. Вместе с тем, все операции процесса восстановления рассматриваются не изолированно друг от друга, а во взаимосвязи, т.к. формирование конечных свойств трансформируемых поверхностей происходит на протяжении всего процесса восстановления

работоспособности детали с пополнением ресурса остаточной её надёжности.

За геометрическую форму и взаимное расположение поверхностей в наибольшей степени отвечают первые операции механической обработки, за размеры и величину шероховатости – последние, финишные, за износостойкость – материалы, операции нанесения и термической обработки, за усталостную прочность и жёсткость – термические операции и поверхностное пластическое деформирование. Технологическая наследственность по шероховатости поверхности проявляется, например, на операциях предварительной и черновой обработки, а на заключительных операциях копирование исходной шероховатости угасает. Значительно подвержены наследования параметры формы и расположения поверхностей.

Однотипные операции (предварительную механическую обработку, наплавку и нанесение покрытий, термическую и механическую обработку и др.) при восстановлении различных элементов детали объединяют в блоки операций и выполняют вместе.

Все технологические операции, связанные с вложением тепла в материал детали, должны быть объединены в одной части технологического процесса и отделены от последующих операций термической обработки. Этот подход к разъединению разнородных частей технологического процесса служит технологическим «барьером» для внутренних напряжений, роста зёрен материала наплавочного или напылённого слоя и деформации детали.

При черновой механической обработке снимается основная часть операционного припуска. Если условно разделить этот вид обработки на две части, то в первой обеспечивается необходимое взаимное расположение поверхностей детали, а во второй – форма её геометрических элементов. Точность взаимного расположения поверхностей достигается выбором технологических баз и ориентированием детали относительно движущегося инструмента, а точность формы – жёсткостью и точностью оборудования, выбором инструмента и режимами обработки.

Черновая механическая обработка обычно лезвийная, выполняется на токарных, расточных и фрезерных станках. Реже она бывает абразивной.

В результате чистовой механической обработки получают заданную точность размеров и шероховатости поверхностей, близкую к нормативной. Черновая механическая обработка шеек валов – это в большинстве случаев абразивная обработка, а отверстий – тонкое растачивание и хонингование.

Детали, которые воспринимают в рабочем режиме знакопеременную нагрузку, проходят после чистовой обработки операцию поверхностного пластического деформирования, назначение которого – закрыть микротрещины и создать наклёпанный слой с внутренними напряжениями сжатия. Поверхностное пластическое деформирование реализуется механическими или термомеханическими способами.

Назначение отделочных операций (полирования, суперфиниширования, хонингования) заключается в снятии ра-

зупрочнённого в результате механической обработки слоя и обеспечения необходимой шероховатости поверхности детали.

На обработанных деталях имеют место технологические загрязнения (стружка, зерна абразивного материала, остатки смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), полировальные пасты и др.), которые способны оказать нежелательное влияние на их работоспособность. Детали, направляемые на контроль и сборку, должны быть очищены от этих загрязнений. Особое внимание уделяется очистке масляных каналов и внутренних полостей восстановленных деталей.

Операция контроля заключается в установлении соответствия восстановленной детали требованиям технической документации (чертежа или карты технического контроля).

Технологические операции указанных типов восстановления работоспособности деталей выполняются на специализированных участках любого АРП.

Контрольные вопросы

1. Какие блоки операций образуют технологические воздействия на восстанавливаемую деталь?
2. Назовите параметры и характеристики технического состояния автомобильного транспорта, выработавшего установленный ресурс износа деталей узлов и механизмов, т.е. достигших предельного состояния...
3. Что представляет собой процесс восстановления изношенной детали?

4. Как называется свойство деталей выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах?
5. Какое свойство детали является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения изделия и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определённые сочетания этих свойств?
6. Какое свойство среди свойств надёжности является основным и что оно определяет?
7. Что представляет собой остаточная долговечность детали?

Часть 3. ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ РЕМОНТНЫХ ЗАГОТОВОК УЗЛОВ И МЕХАНИЗМОВ АВТОМОБИЛЕЙ

3.1. Очистка деталей от загрязнений

3.1.1. Классификация свойств загрязнений

Разборочно-очистной процесс, включающий сменяющиеся друг друга разборочные и очистные работы, включает выполнение на одном производственном участке операций многооперационного процесса очистки и разборки агрегатов автомобиля и деталей его узлов и механизмов (рис. 3.1) [36].

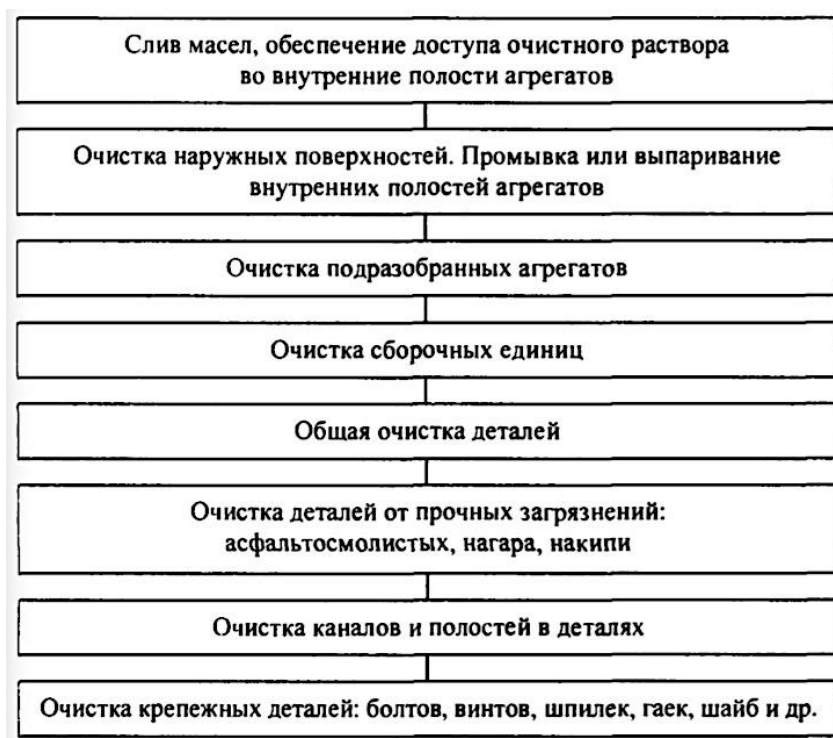


Рисунок 3.1 – Последовательность операций очистки деталей от эксплуатационных загрязнений

Разборочно-очистной процесс состоит из следующих операций качественной очистки поверхностей деталей авто-

мобиля и разборки его агрегатов: очистки наружных и внутренних поверхностей поступившего в ремонт автомобиля, его подразборки, очистки подразобранного агрегата, общей и узловой разборки, общей очистки деталей и сборочных единиц, очистки отдельных деталей от прочных загрязнений, сбора, очистки и сортировки крепёжных деталей, обеспечивает многооперационный процесс.

Автомобиль, поступивший в ремонт, несёт на поверхностях деталей своих агрегатов до 100 кг *эксплуатационных загрязнений*. Качественная и полная очистка от них определяет не только культуру производства, но и объективность контроля и сортировки деталей, качество восстановления их работоспособности и последующую наработку агрегатов.

Эксплуатационные загрязнения (рис. 3.2) на наружных и внутренних поверхностях различны. На наружных поверхностях находятся остатки материалов, с которыми взаимодействовал автомобиль, масла и смазки, маслогрязевые отложения, герметизирующие мастики, лакокрасочные покрытия, продукты коррозии и др.

Загрязнения на внутренних поверхностях находятся в виде углеводородных отложений как результат старения и химико-термических превращений смазочных материалов и топлива, продуктов изнашивания, остатков герметизирующих паст и прокладок, а также накипи, образующейся от взаимодействия охлаждающих жидкостей с металлическими стенками.

Детали агрегатов автомобиля в процессе восстановления работоспособности *покрываются технологическими*

загрязнениями (окалиной, стружкой, притирочными пастами, маслами, очистными материалами, продуктами приработочного износа и др.). Такие загрязнения уступают эксплуатационным по прочности и массе, но они также должны быть удалены с деталей перед сборочными операциями.



Рисунок 3.2 – Классификация загрязнений [37]

Сначала детали очищают от эксплуатационных загрязнений, а по завершении процесса восстановления работоспособности деталей и перед окраской агрегатов удаляют технологические загрязнения.

Знания природы загрязнений автомобилей позволяют обоснованно и эффективно принимать меры по качественной очистке поверхностей деталей от этих загрязнений.

По химическому составу основная масса загрязнений подразделяется на две большие группы: *минеральные* (кремнезёмные) и *органические* (углеводородные). Кремнезёмные

загрязнения образуются на поверхностях деталей в результате взаимодействия с почвой и почвенной пылью. Углеводородные загрязнения появляются от взаимодействия топлив и масел с газами и влагой, продуктами изнашивания поверхностей деталей при повышенной температуре. Они включают следующие группы веществ: масла и нейтральные смолы, оксикислоты, асфальтены, карбены и карбоиды, несгораемый остаток (золу).

Нейтральные смолы входят в состав нефтепродуктов. Они полностью растворяются в петролейном эфире и бензине.

Оксикислоты способны образовывать соли в результате диссоциации, окисления и реакции омыления. *Асфальтены* – продукты уплотнения нейтральных смол, хрупкие неплавкие вещества, разлагающиеся при температуре ≥ 300 °С с образованием кокса и газов.

Карбены и карбоиды – продукты уплотнения и полимеризации углеводородов при термическом разложении масел и топлива. Карбены растворимы в сероводороде и пиридине, а карбоиды нерастворимы ни в каких растворителях.

С повышением температуры и возрастанием времени окисления масел наблюдается количественный рост оксикислот, асфальтенов, карбенов и карбоидов в загрязнениях с увеличением доли веществ, содержащихся в конце приведенного ряда.

В зависимости от соотношения составляющих веществ углеводородные загрязнения подразделяются на масляные, асфальтосмолистые, лаковые и нагар.

Масла на ранней стадии окисления и загрязнения присутствуют на большинстве поверхностей деталей.

Асфальтосмолистые отложения состоят из веществ, которые не растворяются в масле и обладают большей по сравнению с ним плотностью. Состав отложений: окисленные масла и смолы 40–80 %, карбены, карбоиды и зола 10–30 %.

Лаковые отложения (плёнки) образуются на немногочисленной группе деталей, на шатунах и поршнях, например, за счёт тонкослойного окисления масла.

Основу *нагара* составляют карбены и карбоиды (от 30 до 70 %), масла и смолы (3–8 %), остальное – оксикислоты, асфальтены и зола. Большое количество нерастворимых и труднорастворимых компонентов нагара затрудняет его удаление.

Отдельную группу загрязнений образует *накипь*, которая откладывается на внутренних поверхностях стенок радиаторов и рубашек охлаждения ДВС. Её образование обусловлено содержанием в воде в растворенном состоянии солей кальция и магния. Различают временную и постоянную жёсткость воды. Временную жёсткость удаляют кипячением, она вызвана растворением в воде бикарбонатов кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и магния $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, сульфата кальция CaSO_4 , силиката магния MgSiO_3 и др. При нагревании воды до 70–80 °С или кипячении из неё выпадают соли – продукты термического разложения бикарбонатов, а также силикаты и сульфаты магния и кальция. Постоянная жёсткость обусловлена солями, не выпадающими в осадок при повышенной температуре воды. По химическому составу накипь разделяют на кар-

бонатную (CaCO_3 и магния MgCO_3), сульфатную (CaSO_4), силикатную (Mg SiO_3) и смешанную. Характеристика основных загрязнений деталей автомобилей приведена в табл. 3.1 [38].

Таблица 3.1
Виды и характеристики загрязнений поверхностей деталей автомобилей

Загрязнения	Сборочные единицы, детали	Характеристики загрязнений	
		Максимальная толщина, мм	Предел прочности при сжатии, МПа
Маслогрязевые	Картеры, крышки, поддоны	10	2...5
Масла и смазки	Корпусные детали, валы, шатуны, детали системы смазки	5	1...2
Лакокрасочные покрытия	Детали с окрашенными поверхностями	0,1	30
Продукты коррозии	Детали кузова, кабины, рамы, корпуса	3	40
Накипь	Блоки, гильзы и головки цилиндров	3	30
Асфальтосмолистые отложения	Блоки цилиндров, коленчатые валы, шатуны	0,5	10
Нагар	Головки цилиндров, поршни, коллекторы	1	30

Принятый в капитальный ремонт ДВС с рабочим объёмом 4,8 л имеет на поверхностях своих деталей до 10 кг эксплуатационных загрязнений. Наибольшие технологические трудности представляет снятие нагара и накипи (проч-

ных загрязнений), которые обладают наибольшей адгезией к металлам: 7 и 20 МПа соответственно. Некачественная очистка деталей снижает послеремонтную наработку агрегатов на 20–30 %.

Нагар снимают специальными приспособлениями (рис. 3.3) или наждачной бумагой. Для размягчения нагара места, где необходимо его снять, смачивают керосином.

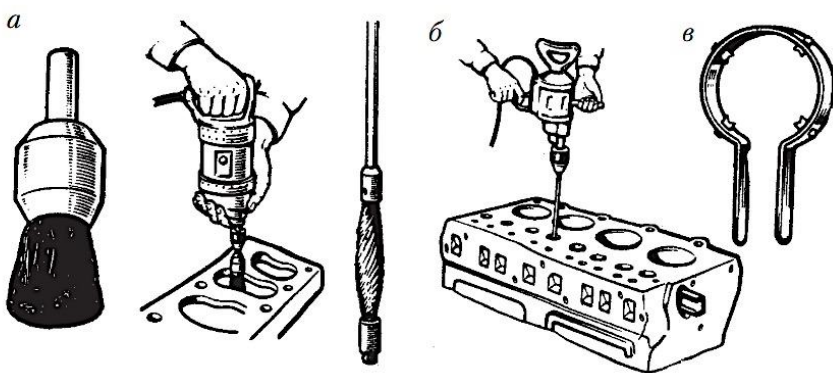


Рисунок 3.3 – Приспособления для удаления нагара и других отложений [39]:
а – с головки цилиндра; б – с направляющих втулок клапанов; в – из канавок поршней

3.1.2. Методы очистки поверхностей деталей от загрязнений

Мойка и очистка объектов ремонта при КР способствует повышению качества ремонта, обеспечению необходимых санитарно-гигиенических условий работы разборщиков и повышению производительности их труда.

На долю моечно-очистных работ приходится 3–3,5 % общей трудоемкости КР автомобилей. Стоимость средств выполнения техпроцессов мойки и очистки составляет 6–9 % от

общей стоимости средств технического оснащения АРП. Площадь, занимаемая средствами очистки, составляет 8–12 % общей производственной площади АРП.

Особенно велико влияние моечно-очистных работ на качество и ресурс отремонтированных автомобилей и их агрегатов. Установлено, что только за счет повышения качества мойки и очистки можно повысить ресурс отремонтированных агрегатов на 25–30 % и повысить производительность труда разборщиков и дефектовщиков на 15–20 %.

При мойке-очистке агрегатов автомобилей и деталей их узлов и механизмов необходимо удалять значительное количество эксплуатационных загрязнений, образовавшихся в процессе длительного срока их эксплуатации, и производственные (технологические) загрязнения, появляющиеся в процессе ремонта.

Для удаления всех видов загрязнений необходимо применение многостадийного процесса мойки и очистки.

Очистку и мойку деталей производят перед разборкой, дефектацией, механической обработкой, нанесением покрытий и перед сборкой и покраской.

Этапы очистных работ:

1. Наружная мойка автомобилей и агрегатов.
2. Очистка подбранных агрегатов для удаления смолистых отложений, накипи и остатков масла из картеров.
3. Очистка деталей после разборки.
4. Контроль качества очистки.

Очистка поверхности – это удаление загрязнений с поверхности деталей до определенного уровня его чистоты. Очистка достигается различными методами:

- 1) механическим;
- 2) физическим;
- 3) химическим;
- 4) физико-химическим;
- 5) химико-термическим.

В основе каждого метода используется определенный способ разрушения загрязнений и удаления их с поверхностей деталей.

Механический метод очистки заключается в разрушении загрязнений и их удалении механическим способом: соскабливанием, скалыванием, иглофрезерованием, протиранием, воздействием струи воздуха, воды, твёрдых частиц – дробь, песок, стеклянные шарики, косточковая крошка и др.

Физический метод – растворение загрязнений в растворах жидких моющих средств, иногда с применением ультразвука, струйного облива и паров растворителя.

Химический метод – химическое травление очищаемой поверхности от загрязнений с повышением температуры очищающего средства.

Физико-химический метод – растворение, эмульгирование и химическое разрушение загрязнений с применением растворяюще-эмульгирующих средств и ополаскиванием в растворах синтетических моющих средств. Перемещение, колебание или вращение очищаемого объекта в процессе очистки.

Химико-термический метод – химическое разрушение (сгорание) загрязнений в пламени или щелочном расплаве при высокой температуре (400–450 °С).

Анализ основных моечно-очистных процессов ремонтного производства показывает их высокую энергоемкость. При ремонте автомобилей не следует добиваться абсолютной чистоты всех поверхностей или очень высокой степени очистки, если это не вызывается технологической необходимостью, т.к. процессы очистки требуют значительных затрат труда и средств. Поэтому, под чистой поверхностью следует понимать такое ее состояние, при котором на ней остается допустимое для данного процесса количество загрязнений.

Для ускорения процессов очистки применяют различные способы интенсификации:

- повышение температуры и давления очищающей среды;
- вибрационная активация очищающей среды;
- придание очищающей среде кинетической энергии;
- барботаж и пр. (рис. 3.4, [40]).

При КР автомобилей можно выделить три уровня очистки:

1. *Макроочистка* – процесс удаления с поверхности наиболее крупных загрязнений, мешающих оборудованию, разборке, дефектации и механической обработке. При макроочистке необходимо очищать поверхности до уровня, обусловленного шероховатостью поверхности R_z или R_{max} .

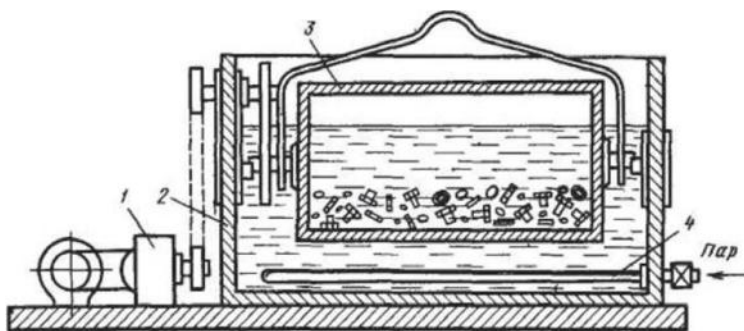


Рисунок 3.4 – Очистка деталей в галтовочных барабанах:
 1 – привод вращения барабана, 2 – ванна,
 3 – барабан, 4 – нагреватель

2. *Микроочистка* – удаление загрязнений из микронеровностей, важна на финишных операциях сборки, т.к. от достигнутой чистоты поверхностей и сопряжений будут зависеть надежность и ресурс изделий (рис. 3.5).

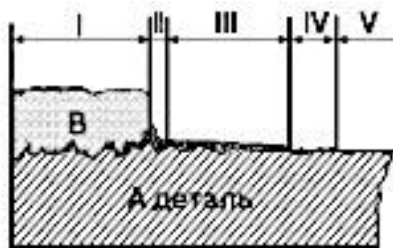


Рисунок 3.5 – Уровни очистки поверхности детали [41]:
 I – загрязненная поверхность; II – поверхность в процессе очистки; III – поверхность после макроочистки;
 IV – поверхность после микроочистки; V – поверхность после травления; B – загрязнение; A – деталь

3. *Активационная очистка* – это травление металла до активированного состояния. Самостоятельно практически не

применяется, кроме как в качестве промежуточной операции при нанесении гальванических покрытий.

3.1.3. Моющие средства и их компоненты

Действие моющего средства состоит в удалении жидких и твердых загрязнений с поверхности и переводе их в моющий раствор в виде раствора или дисперсии. Моющее действие проявляется в сложных процессах взаимодействия загрязнений, моющих средств и очищаемых поверхностей. Основными явлениями, определяющими моющее действие, являются: смачивание, эмульгирование, диспергирование, пенообразование и стабилизация. Указанные явления связаны с поверхностным натяжением и поверхностной активностью моющих средств.

Известно, что вдоль поверхности жидкости действуют силы натяжения, стремящиеся сократить эту поверхность (силы поверхностного натяжения). Поверхностное натяжение измеряют работой, которую необходимо затратить для увеличения поверхности жидкости на 1 см^2 . Произведение поверхностного натяжения на величину этой поверхности называется свободной поверхностной энергией. Вещества, понижающие поверхностное натяжение раствора, называют поверхностно-активными (ПАВ).

ПАВ – это полярные органические соединения, молекулы которых состоят из двух различных по своим свойствам частей. Одна часть молекулы является гидрофобной, а другая – гидрофильной. Гидрофобная (водоотталкивающая) часть молекулы состоит из остатка углеводородной

цепи длиной 10–18 углеродных атомов, способствует растворению ПАВ в масле. Гидрофильная часть молекулы содержит карбосильную COOH , гидросильную OH , сульфатную OSO_3 или аминогруппу NH_2 и способствует растворению ПАВ в воде.

Адсорбция ПАВ сопровождается образованием адсорбционного и сольватного слоев молекул, покрывающих все поверхности. Процесс адсорбции как увеличение концентрации растворенного вещества у поверхности загрязнений уменьшает прочность его соединения с металлической поверхностью и прочность самого загрязнения, что приводит к образованию микротрещин в загрязнении и его последующему разрушению (диспергированию). В зависимости от активности ПАВ адсорбционные процессы сопровождаются различными эффектами: диспергирующими, расклинивающими, капиллярными и их комбинациями. Так расклинивающее давление в микротрещинах достигает значений 80–100 МПа, а капиллярные давления – 150–260 МПа, что обеспечивает разрушение твёрдых загрязнений. Вещества, способные адсорбироваться на поверхности гидрофобных частиц, называются эмульгаторами. На процессы эмульгирования и диспергирования большое влияние оказывает механическое воздействие очистного раствора, способствующее разрушению загрязнений. Процесс очистки поверхности металлических деталей от загрязнения в жидком растворе ПАВ можно представить множеством воздействий (рис. 3.6, [40]).

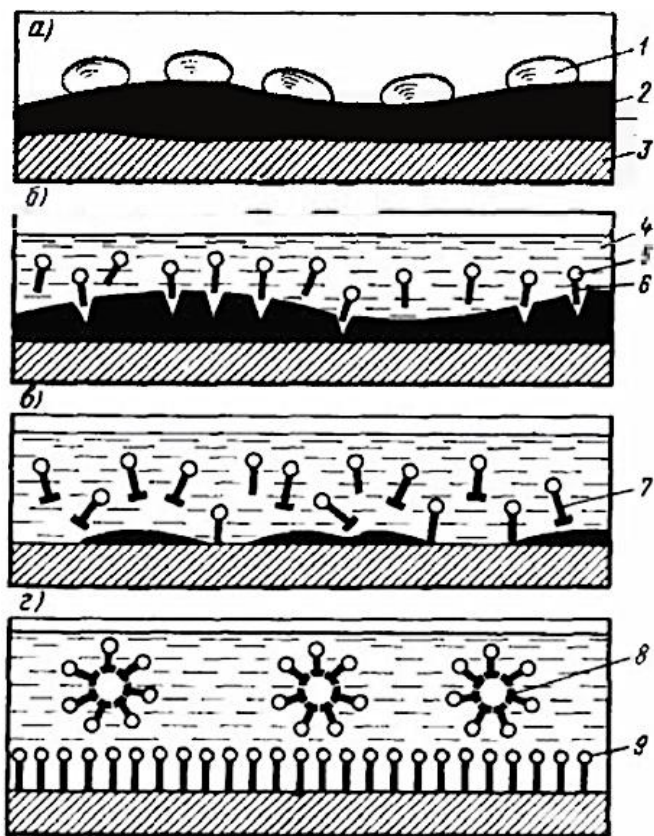


Рисунок 3.6 – Схема очистного процесса в жидких технологических растворах [40]:

a-г – этапы процесса; 1 – капли воды; 2 – загрязнения; 3 – очищаемая поверхность; 4 – моющий раствор; 5 и 6 – соответственно гидрофильная и гидрофобная части молекулы ПАВ; 7 – перевод частиц загрязнений в раствор; 8 – частицы загрязнения, стабилизированные в растворе; 9 – адсорбированные молекулы ПАВ на очищенной поверхности

Высокая поверхностная активность и способность к образованию коллоидных (мылоподобных) агрегатов (ми-

целл) обеспечивают ПАВ комплекс свойств, определяющих их моющее действие: смачивающую, эмульгирующую, диспергирующую, солюбилизующую и стабилизирующую способность. Поэтому наибольшее практическое применение в очистных процессах нашли именно коллоидные ПАВ.

В водных растворах коллоидные ПАВ имеют высокую поверхностную активность. Причиной мицеллообразования является наличие в молекулах сильнополярной группы и гидрофобного радикала. Эта способность проявляется при пороговой концентрации ПАВ. Образование мицелл при критической концентрации мицеллообразования (ККМ) ведёт к резкому изменению очистных свойств ПАВ, которое сопровождается изменениями плотности, поверхностного натяжения, электрической проводимости и моющего действия этих растворов. Величина ККМ зависит от вида ПАВ, наличия в растворе щелочных добавок и температуры раствора. Для различных ПАВ значения ККМ составляют 1–10 г/л.

Щелочные добавки значительно снижают ККМ, обеспечивая эффективное очистное действие растворов при меньшем расходе ПАВ.

Смачивание заключается в растекании капли жидкости, помещенной на поверхность твёрдого тела. Процесс смачивания позволяет очистному раствору проникать в поры и трещины твёрдого тела. Силы в поверхностном слое капли жидкости стремятся придать ей такую форму, чтобы её поверхность была наименьшей. На каждую элементарную площадку у края жидкости, растекающейся по поверхности твёрдого тела (рис. 3.7), действуют силы P_1 , P_2 и P_3 на

границах соответственно твёрдое тело – газ; твёрдое тело – жидкость и жидкость – газ. Жидкость растекается по поверхности при благоприятном соотношении этих сил, зависящих от свойств взаимодействующих веществ. Краевой угол смачивания φ определяется из соотношения:

$$\cos\varphi = \frac{P_3}{P_1 - P_2}.$$

Чем меньше значение угла φ , тем больше смачивающая способность жидкости.

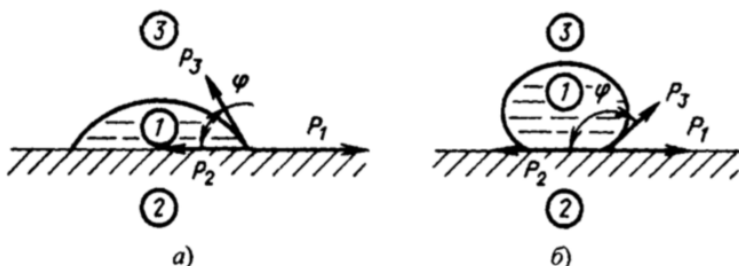


Рисунок 3.7 – Схема взаимодействия капли жидкости с поверхностью твердого тела и газовой средой [42]:

a – смачивание поверхности; *б* – поверхность не смачивается: 1 – капля жидкости; 2 – твердое тело
3 – газовая среда

Поверхности, смачиваемые водой, называются гидрофильными, а не смачиваемые водой – гидрофобными. Смачиваемость твердого тела жидкостью зависит от поверхностного натяжения жидкости, от природы и состава жидкости и твердого тела. Например, поверхности, загрязненные маслами, хорошо смачиваются углеводородными растворителями и плохо – чистой водой. Добавление же в

воду ПАВ понижает поверхностное натяжение воды и обеспечивает смачивание загрязненных маслом поверхностей.

Требования к смачивателям должны отвечать техническим характеристикам по ГОСТ Р 50588-2012 (табл. 3.2, [43]).

Таблица 3.2

Требования к техническим характеристикам смачивателей

Плотность при 20 °С, кг/м ³	1000–1200
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² ·с ⁻¹ , ≤	100
Водородный показатель (рН) водного раствора с массовой долей продукта 1 %	7,0–10,0
Температура застывания, °С, ≤	– 3
Концентрация смачивателя в рабочем растворе, %	0,1–3,0
Показатель смачивающей способности, с, ≤	9
Поверхностное натяжение водного раствора смачивателя, мН/м, ≤	25

Часто загрязнения состоят из двух фаз: жидкой (масла, смолы, смазки) и твердой (асфальтены, карбены, почвенные и пылевые частицы и т.д.). Удаление таких загрязнений с поверхности происходит двумя путями: эмульгированием жидкой фазы (образование эмульсий) и диспергированием твердой фазы (образование дисперсий).

Эмульсией называется система несмешивающихся жидкостей, одна из которых распределена в виде капель в другой. Эмульсии бывают двух типов: эмульсии прямые – масло в воде, и эмульсии обратные – вода в масле. Под маслом здесь понимается любая жидкость, не растворимая в воде и водных растворах.

Эмульгирование жидкой фазы загрязнений возможно в водных растворах ПАВ. Молекулы ПАВ создают на поверхности капель масла прочные адсорбированные слои. Гидрофобная часть молекулы связывается с маслом, а гидрофильная ориентируется в сторону водного раствора, что препятствует слиянию капель масла друг с другом. ПАВ, адсорбирующиеся на поверхности гидрофобных частиц (масла), называются эмульгаторами.

Диспергирование твердой фазы загрязнений происходит благодаря адсорбции ПАВ на частицах загрязнений. Малое поверхностное натяжение моющего раствора позволяет ему проникать в мельчайшие трещины частиц загрязнения и адсорбироваться ПАВ на поверхностях этих частиц. Адсорбированные молекулы ПАВ создают расклинивающее давление на частицы загрязнений, разрушая и измельчая их.

Применение механического воздействия раствора повышает процессы эмульгирования и диспергирования и способствует разрушению загрязнений.

Стабилизация в моющем растворе отмытых загрязнений это предупреждение их повторного осаждения на очищенную поверхность. Стабилизация загрязнений зависит от состава моющего раствора и технологических условий его применения (концентрация, температура, загрязненность).

Пенообразование – образование пены при очистке. Пена способствует удержанию диспергированного загрязнения и предотвращению осаждения его на очищенную по-

верхность. При паровоздушной или электролитической очистке слой пены предотвращает разбрызгивание моющего раствора или создает защитный слой, уменьшающий проникновение едких испарений в атмосферу. Однако сильное пенообразование является отрицательным фактором, т.к. ограничивает использование интенсивного перемешивания моющего раствора.

Наиболее простым жидким очищающим средством является вода, которая часто применяется при наружной мойке автомобилей для удаления грязи и пыли с кузовов автомобилей, обычно при струйной очистке.

Первоначально для мойки и очистки деталей автомобилей от различных загрязнений применяли растворы водные едкого натра (каустическая сода), но в виду ее значительной токсичности и вредного воздействия на многие металлы и сплавы в настоящее время практически не применяется.

Едкий натр NaOH – белая гидроскопичная масса. При растворении в воде выделяется большое количество тепла. Он разрушает кожу, ткани, бумагу, легкие и цветные металлы. Применяется для очистки от масляных загрязнений, нагара, накипи и старой краски. После очистки очищаемые поверхности обязательно промыть тщательно чистой водой.

Большое применение в процессах очистки получили синтетические моющие средства (СМС). Основы СМС составляют поверхностно-активные вещества (ПАВ), активность которых повышена введением щелочных электроли-

тов. Растворы СМС значительно превосходят по моющей способности растворы едкого натра и различных щелочных смесей. Они практически не токсичны, негорючи, пожаробезопасны и хорошо растворяются в воде, выпускаются в виде порошков. Основные наиболее широко применяемые марки СМС: МЛ-51, МЛ-52, МС-5, МС-6, МС-8, Лабомид-101, Лабомид 203, Лабомид-102, Темы и др.

Раствором СМС можно очищать детали из черных, цветных и легких металлов и сплавов. Наиболее эффективна очистка растворами СМС при температуре $80 \pm 5^\circ\text{C}$, которые применяют для струйных и погружных способов мойки.

В состав СМС входят следующие основные компоненты:

1. Сода кальценированная – 40–50 %.
2. Триполифосфат натрия – 25–30 %.
3. Метасиликат – 10–15 %,

а также могут входить жидкое стекло, сульфанол, синтанол, синтаמיד и другие.

Щелочные соединения – растворы едкого натра (каустик), кальценированной соды, силикатов (метасиликата натрия, жидкого стекла), фосфатов (тринатрийфосфат, триполифосфат).

Щелочные растворы применяются при очистке деталей для нейтрализации свободных жирных кислот и омыления загрязнений.

Кальценированная сода Na_2CO_3 . Раствор ее в воде создает щелочность и повышает моющую способность воды, омыляя жиры и масла.

Фосфаты – соли фосфорной кислоты. Растворы фосфатов обладают высокими диспергирующими свойствами, облегчая очистку от вредных асфальто-смолистых и лаковых загрязнений.

Силикаты натрия повышают диспергирование загрязнений, предупреждают повторное осаждение их на очищаемые поверхности и способствуют умягчению воды.

Растворители – это жидкие моющие средства, растворяющие загрязнения в себе, т.е. при соприкосновении растворителя с загрязнением происходит распределение молекул загрязнения в растворителе. Во время очистки загрязнения накапливаются в растворителе и после очистки на поверхности деталей может остаться некоторое количество загрязнений. Растворители, используемые для очистки деталей от загрязнений, должны удовлетворять следующим требованиям:

- Высокая растворяющая способность загрязнений.
- Отсутствие или определенный уровень токсичности и пожароопасности.
- Отсутствие разрушающего действия на очищаемую поверхность.
- Физико-химическая стабильность в условиях применения.

Наиболее важными технологическими свойствами растворителей являются растворяющая способность, летучесть, температура вспышки и предельно допустимая концентрация паров в воздухе.

Растворяющая способность – это основное технологическое свойство растворителя. Чем выше растворяющая способность растворителя, тем быстрее очищается поверхность и меньше удельный расход растворителя. Строго с физической точки зрения не существует абсолютной величины, характеризующей растворяющую способность.

Летучесть растворителя — это скорость испарения при определенных температурах. Чем выше летучесть, тем быстрее будет высыхать растворитель на очищенной детали. Чем ниже летучесть растворителя,, тем более высокую температуру вспышки имеют пары растворителя. Применимость горючих растворителей для очистки во многом зависит от их точки воспламенения – температуры, при которой пары растворителей образуют с воздухом пожароопасную смесь.

Наибольший интерес применение растворителей и составов на их основе представляет для очистки деталей двигателей от асфальто-смолистых отложений (АСО) и нагаров. В этой связи определена растворяющая способность ряда растворителей по отношению к АСО, характерных для ДВС (например, толкатели клапанов).

К растворителям, которые применяются при очистке от загрязнений относятся: перхлорэтилен, трихлорэтилен, ксилол, дизельное топливо, бензин, керосин, уайт-спирит, ацетон и другие.

Основную массу растворителей, применяемых в настоящее время на ремонтных предприятиях, составляют: дизтопливо, бензин, керосин и уайт-спирит. Они применяются для отмачивания блоков и других деталей от асфаль-

то-смолистых загрязнений, для очистки каналов коленвалов, топливной аппаратуры, деталей двигателя и коробки передач, ведущих мостов и других деталей, загрязненных маслами и другими загрязнениями углеводородного типа. Они хорошо очищают поверхности от этих загрязнений, но обладают повышенной пожароопасностью и недостаточной эффективностью очистки (остается часть загрязнений). Поэтому в последнее время получили применение более эффективные растворяюще-эмульгирующие средства (РЭС).

Растворяюще-эмульгирующие средства (РЭС) сначала очищают поверхность детали от загрязнений за счет растворения, а затем при погружении детали в воду или водный раствор СМС – за счет эмульгирования растворителя и остатков загрязнений, РЭС применяются для очистки от прочных асфальтосмолистых загрязнений при умеренных температурах (20–50 °С).

РЭС состоит из базового растворителя, соразтворителей, поверхностно-активных веществ (ПАВ) и небольшого количества воды. Базовыми растворителями служат: керосин (эмульсин), ксилол (АМ-15), уайт-спирит (ИК-3, термос), хлорированные углеводороды (Лабомид-312, Ритм). Для нужд ремонтного производства серийно выпускаются АМ-15 и «Ритм». Применение этих очищающих средств должно производиться в герметизированных машинах погружного типа. РЭС в 5–15 раз эффективнее растворов СМС.

При применении моющих средств следует учитывать, что входящие в них компоненты имеют определенные характеристики по токсичности:

– ПАВ (смачиватель ДБ, Сульфанол, Синтанол ДС-10, Синтаמיד-5, ОС-20, ОП-Ю и др.) малотоксичны, но при длительном воздействии в больших концентрациях могут вызывать сухость кожи рук;

– кальцинированная сода при вдыхании оказывает негативное влияние (поражает, разрушает) на дыхательные пути, а при попадании на руки вызывает сухость кожи;

– метасиликат натрия, жидкое стекло, тринатрийфосфат и триполифосфат натрия не токсичны, но при непосредственном контакте с руками вызывают сухость кожи.

Рекомендуемые концентрации смачивателей приведены в табл. 3.3 [43].

При работе с СМС и в процессе их приготовления следует учитывать возможность образования аэрозольного облака и попадания брызг раствора на кожу и слизистую оболочку глаз. Для предупреждения этого необходимо применять индивидуальные средства защиты: очки, респиратор, резиновые перчатки и сапоги, соответствующую одежду. Перед надеванием перчаток следует смазывать руки до локтей защитными кремами. При работе с нефтепродуктами, маслами и органическими растворителями применяют гидрофильные пасты. По окончании работы пасты легко смываются водой с мылом.

Таблица 3.3

Рекомендуемые концентрации смачивателей

Смачиватель	Оптимальная концентрация (% к воде)
Смачиватель ДБ	0,2–0,25

Сульфанол	
НП-1	0,3–0,5
НП-1	0,3–0,5
Б (Смачиватель)	1,5–1,8
Никаль НБ	0,7–0,8
Вспомогательное вещество	
ОП-7	1,5–2,0
ОП-8	1,5–2,0
Эмульгатор ОП-4	1,95–2,10
Пенообразователь	
ПО-1	3,5–4,0
ПО-1Д	6,0–6,5

Для защиты кожи рук от растворов щелочей, кислот, солей, эмульсий используют пасты, не смачиваемые водой, и крем. При попадании растворов СМС в глаза их необходимо промыть водой.

Особую осторожность необходимо соблюдать при работе с каустической содой и ее растворами, так как они, попадая на кожу, разъедают ее и вызывают ожоги. Куски каустической соды нельзя брать голыми руками, а следует пользоваться совком, лопатой и щипцами. При загрузке её в ванну надо учитывать, что растворение каустической соды сопровождается сильным разогреванием раствора, что может вызвать его разбрызгивание. В этой связи все работы с каустической содой необходимо выполнять в резиновой маске с

защитными очками, а также в резиновых сапогах, перчатках и фартуке.

На установках для очистки деталей в расплавах солей разрешается работать только в щёлочеогнестойкой одежде (комбинезон, фартук), защитных очках, брезентовых рукавицах, резиновых сапогах.

3.1.4. Оборудование для очистки деталей

Для качественной и высокопроизводительной мойки применяются специальные моечные машины (ММ), у которых напор моющего раствора составляет 200–220 МПа, а скорость истечения струи – 170–250 м/с. Благодаря этому достигается интенсивное ударное действие струи, что в совокупности с высокой температурой воды обеспечивает эффективное удаление загрязнений.

Комплектация ММ проводится с применением нескольких типов аппаратов. Они отличаются по принципу работы и иным параметрам:

1. Системы камерного типа с перемещением загруженных деталей относительно зафиксированных форсунок. Применяются для промывки некрупных деталей, узлов, агрегатов, снятых с машин для удаления грязи.
2. Установки камерного типа, работающие по принципу перемещения форсунок относительно зафиксированной в рабочей камере детали, узла, агрегата. Оборудование применяют, если нужно освободить от грязи несколько мелких комплектующих, сравнительно небольшие запчасти.

3. Комбинированные системы камерной разновидности. Объединяют функции двух описанных типов. Это делает их универсальными, позволяет решать множество задач.

4. Конвейерные агрегаты с высокой производительностью. Применяются для непрерывного отмывания крупных партий малых, средних деталей разного типа.

5. Очистные установки погружного типа. Их задействуют для отмывания трубопроводных элементов машин, деталей длинномерного типа.

Для очистки воздушно-пескоструйным способом внутренних и наружных поверхностей от краски, окалины и коррозии, различных загрязнений, обезжиривания, а также при подготовке поверхностей к окраске, ремонту служат установки отечественного производства *АСО-150*, *АСО-40Э*, *АСО-200* (габариты 850x800x1200, 500x430x910 и 3900x2050x1350 соответственно), основные характеристики которых представлены в табл. 3.4 [44].

Большинство струйных ММ функционирует по принципу вращения корзины с отмываемыми объектами, перемещающейся относительно закреплённых форсунок струйной очистки.

На практике применяются ММ, которые различаются:

- степенью подвижности (стационарные и передвижные);
- типом и приводом насоса для подачи жидкости;
- конструкцией насосного агрегата (моноблочные, редукторные и фланцевые);
- возможностью нагрева моющей жидкости (с подогревом, без подогрева, парогенераторы).

Таблица 3.4

Модель ММ	АСО-150	АСО-40Э	АСО-200
Производительность по очистке поверхности, м ² /ч	4–20	0,8–3,0	4–20
Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	2–5	0,6–1,0	4–6
Рабочее давление, атм	3,5–7,0	3,5–6,0	3,5–7,0
Объём камеры, л	150	35	180
Расход абразива на 1 м ² , кг	35–40	35–40	35–40
Внутренний диаметр шланга для подачи песка, мм	25	25	25
Масса, кг	150	30	580
Колея, см			180
Грузоподъёмность полная, кг			1600
Дистанционное управление	+	–	+

Насадки высокого давления ММ обеспечивают требуемую форму и площадь следа струи на очищаемой поверхности. При отсутствии угла распыления формируется концентрированная струя с высокой разрушающей способностью, однако площадь очистки небольшая. С увеличением угла распыления струя становится плоской, веерной или широкозахватной, но ее механическое воздействие на загрязнения значительно снижается.

Турбонасадки ММ создают вращающиеся с частотой 4000 мин⁻¹ струи, описывающие конусную поверхность. Вращающаяся струя, благодаря более высокой скорости удара об очищаемую поверхность и большей площади контакта с ней, обладает по сравнению с не вращающейся струей по-

вышенной разрушающей способностью и производительностью очистки. Преимуществом турбонасадок по сравнению с обычными насадками является также пониженный расход воды при одинаковом давлении в системе.

Турболоазер – насадка, которая образует более крупные (до 10 раз) капли воды, чем обычная насадка. Такие капли, ударяя по очищаемой поверхности со скоростью около 600 км/ч, вызывают интенсивное разрушение даже прочных загрязнений.

Процесс мойки характеризуется:

- динамическим давлением (силой удара) струи воды;
- расходом и температурой воды;
- применяемыми моющими средствами.

Сила удара зависит от формы струи, расхода воды, давления в системе, расстояния от насадки до очищаемой поверхности. С увеличением этого расстояния величина ударного импульса уменьшается по гиперболической зависимости. Поэтому оно не должно превышать 0,4–0,5 м.

Струйные ММ могут быть камерного типа (циклического действия) и конвейерного типа (непрерывного действия). В них загрязнения кроме физико-химического воздействия моющей жидкости разрушаются также под влиянием механического воздействия струи, при этом последний динамический фактор имеет первостепенное значение. В однокамерной ММ (рис. 3.8, [45]) подлежащие мойке детали подаются в камеру 3 на тележке 12.

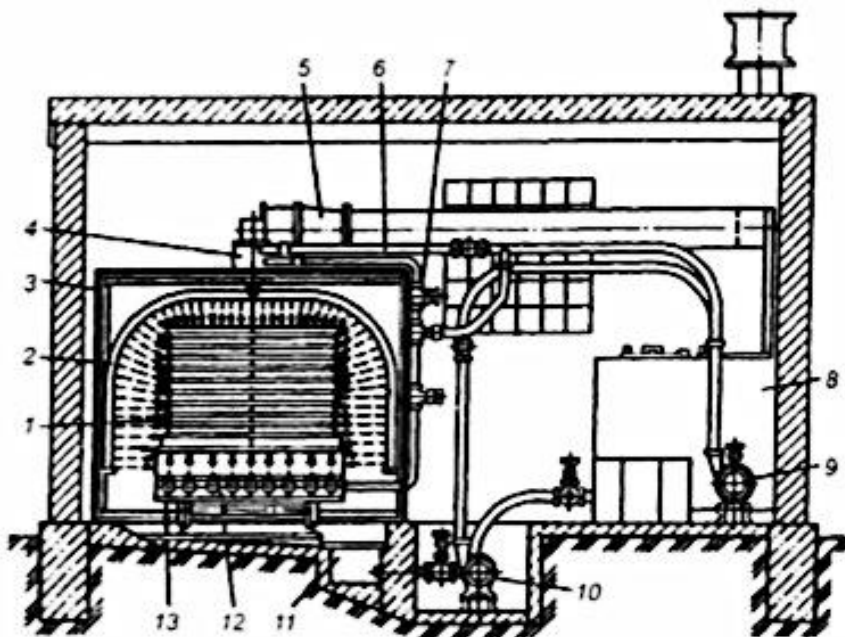


Рисунок 3.8 – Однокамерная моечная машина [45]:

1 – детали; 2 – верхнее оmyвающее устройство; 3 – камера; 4 – привод вращения оmyвающего устройства; 5 – вентиляционные трубы; 6, 7 – трубопроводы; 8 – емкость для подогрева раствора; 9, 10 – насосы; 11 – приемок; 12 – тележка; 13 – нижнее оmyвающее устройство

Мойка детали d однокамерной ММ осуществляется со всех сторон: снизу устройством 13 и с остальных сторон верхним вращающимся оmyвающим устройством 2.

Подогретый в емкости 8 раствор или воду с помощью насоса 9 через устройства 2 и 13 подают в виде множества струй на очищаемые детали. Загрязненный раствор стекает в приемок 11, а из него после очистки перекачивается насосом 10 в емкость 8.

Процесс очистки в машине протекает последовательно: сначала детали моют горячим (75–90 оС) содовым раствором, а затем горячей (80–90 оС) водой под давлением 0,2 МПа. Время мойки, зависящее от конфигурации и размеров детали, не превышает 6 мин.

Производительность применяемых машин этого типа составляет от 0,6 т/ч до 2,0 т/ч (моечные машины ОМ-46Ю и ОМ-5342 соответственно).

Двухкамерные моечные машины (рис. 3.9, [45]) относятся к конвейерному типу и отличаются от однокамерных тем, что детали обмывают моющим раствором, а затем водой последовательно в двух камерах 2 и 6. Благодаря этому производительность конвейерных машин выше, чем камерных даже при одинаковой установленной мощности. Например, производительность конвейерной машины ОМ-15433 более чем в 5 раз выше производительности камерной машины ОМ-46Ю при одинаковой установленной мощности, равной 7 кВт.

Поддоны 7 с деталями устанавливаются на конвейер 1, который проходит через обе камеры и перемещается со скоростью 0,1–0,2 м/мин. Моющий раствор нагревается в баке 10 устройством 9 до температуры 80–90 оС и подается насосом 8 через распределитель 4 в моечную камеру 6. Аналогично осуществляется нагревание и подача воды в камеру 2. Струйные машины в целом имеют меньшую удельную металлоемкость и мощность механических приводов, а процесс мойки на них проще поддается механизации и автома-

тизации и требует меньшего количества моющих средств, чем при мойке деталей методом погружения.

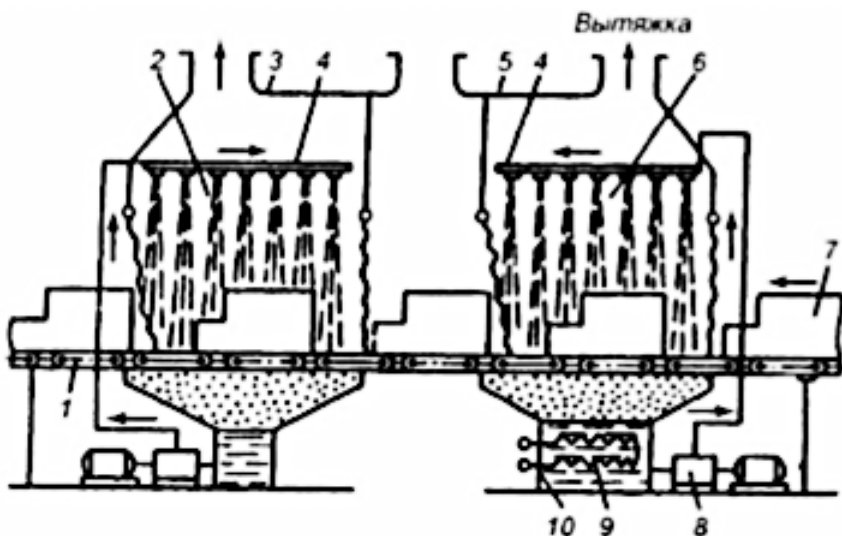


Рисунок 3.9 – Двухкамерная моечная машина:

1 – цепной конвейер; 2 и 6 – первая (вторая) камеры; 3 и 5 – вентиляционные устройства; 4 – распределитель; 7 – поддоны с деталями; 8 – насос; 9 – нагревательный элемент; 10 – бак

Двухкамерным ММ присущи следующие недостатки:

- большие потери тепла в атмосферу из-за интенсивного теплообмена струй моющего раствора с воздухом, что повышает расход энергии для сохранения температуры раствора;
- моющие растворы быстро истощаются и трудно поддаются регенерации;
- неравномерность очистки поверхностей деталей – лучше очищаются поверхности, попадающие под действие струй;
- больше токсичных веществ из растворов попадает в атмосферу, что требует больших затрат энергии на вентиляцию.

Погружные ММ по сравнению со струйными являются более экономичными, так как процесс мойки с погружением, благодаря малым потерям теплоты в окружающую среду, менее энергоемкий и легко может быть интенсифицирован за счет повышения активности очищающей среды.

В зависимости от объема и организации очистных работ при мойке погружением применяют тупиковые и проходные моечные машины. Тупиковые моечные машины изготавливают в виде простых ванн, ванн с подвижной платформой и роторных машин. При небольшом объеме работ применяют передвижные и стационарные (рис. 3.10, [45]) простые моечные ванны. Возможности интенсификации процесса очистки в таких ваннах ограничены допускаемыми температурой и концентрацией раствора.

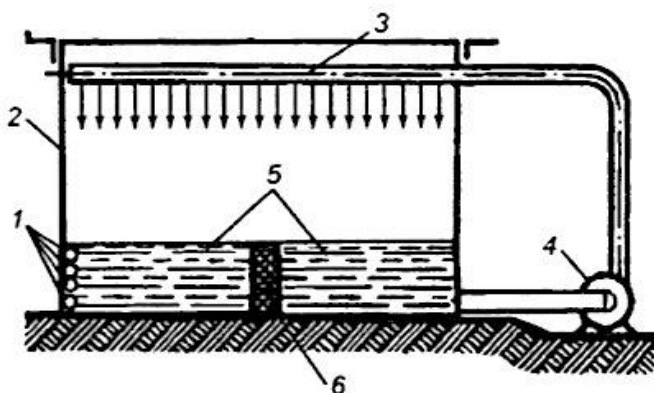


Рисунок 3.10 – Стационарная моечная ванна [45]:
1 – нагревательные элементы; 2 – бак; 3 – трубопровод;
4 – насос; 5 – дно; 6 – фильтр

Ванны обычно используют для удаления с деталей накипи, старой краски, для обезжиривания крупных деталей.

После обезжиривания детали помещают в другую ванну с водой для ополаскивания. Более совершенными являются ванны с подвижной (качающейся или вибрирующей) платформой 2 (рис. 3.11, [45]), в кассеты 3 которых помещают очищаемые детали.

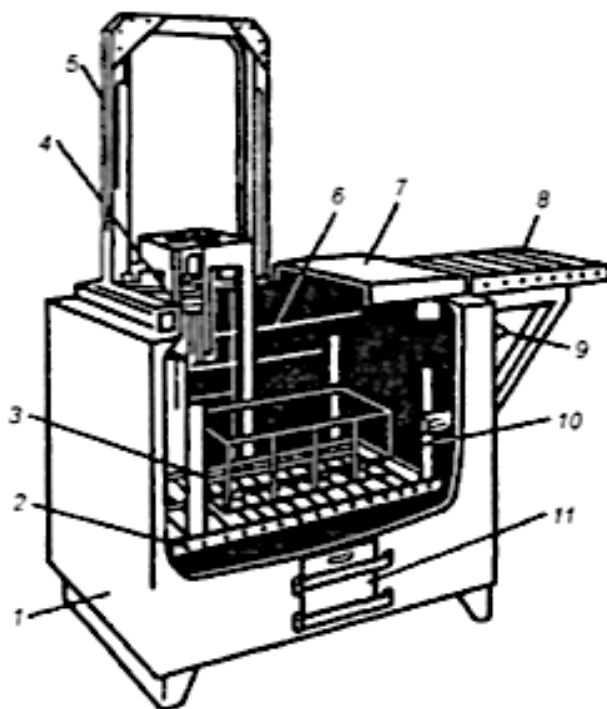


Рисунок 3.11 – Ванна с вибрирующей платформой [45]:

1 – ванна; 2 – виброплатформа; 3 – кассета для деталей; 4 – пневмоцилиндр; 5 – стойка; 6 – нагревательные элементы; 7 – крышка ванны; 8 – ролик; 9 – кран управления; 10 – упоры виброплатформы; 11 – люк очистки ванны

Интенсификация процесса очистки, кроме нагревания моющего раствора элементами 6, обеспечивается его допол-

нительной циркуляцией за счёт специальных лопастных винтов, перемещения деталей или создания с помощью установленного в ванне излучателя ультразвуковых колебаний.

Для активизации процесса очистки необходимо регулярное обновление раствора на очищаемых поверхностях деталей, что может быть обеспечено периодическим их погружением в раствор и извлечением из него. На этом принципе основаны роторные моечные машины (рис. 3.12, [45]).

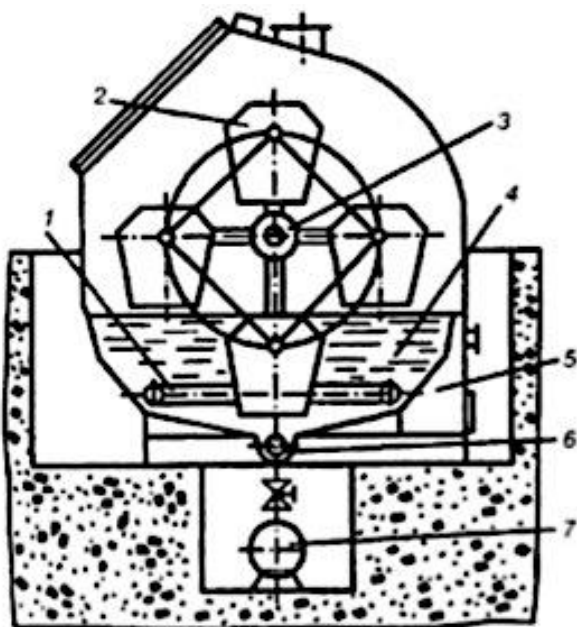


Рисунок 3.12 – Схема моечной машины роторного типа [45]:
1 – теплообменник; 2 – контейнер для деталей; 3 – ротор; 4 – ванна; 5 – маслосборник; 6 – винтовой транспортер; 7 – грязесборник

Контейнеры 2 с подвергаемыми очистке деталями подвешены на роторе 3 и за каждый его оборот погружаются в ванну 4 с раствором и извлекаются из неё.

Угловая скорость вращения ротора задается такой, чтобы раствор успел смочить все поверхности деталей и успевал вылиться до следующего окунания.

Необходимая температура раствора обеспечивается теплообменником. Для удаления загрязнений со дна ванны предусмотрен винтовой конвейер 6, соединенный с грязесборником 7.

Комбинированные моечные машины основаны на сочетании различных способов очистки поверхностей деталей, благодаря чему обеспечивается повышение ее качества.

Специальные моечные машины предназначены для очистки поверхностей деталей, которую описанными выше способами качественно выполнить невозможно. Например, полная очистка масляных каналов фильтров, прецизионных и им подобных деталей и др. полностью обеспечиваются только в специальных моечных машинах, например, ультразвуковых.

Для механической очистки деталей используют установку пескоструйного типа, в которой поверхности очищаются от нагара, накипи, продуктов коррозии, лаковых отложений.

На рис. 3.13 показана схема установки для электрохимической очистки. В ванну 1 с электролитом, в качестве которого обычно используется щелочной раствор, на подвеске 3 погружена очищаемая деталь.

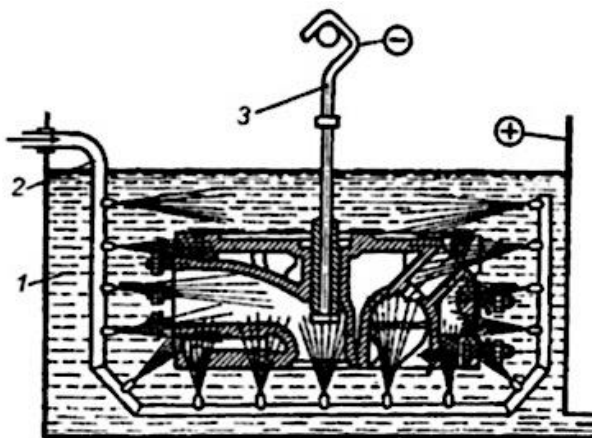


Рисунок 3.13 – Схема установки для электрохимической очистки деталей [45]:

1 – ванна; 2 – трубопровод; 3 – подвеска для деталей

Для создания турбулентности предусмотрен подвод электролита к детали в виде множества струй, создаваемых отверстиями в трубопроводе 2.

Ванна оснащена также нагревательными элементами для обеспечения рабочей температуры раствора (80 °С) и источником электропитания для создания между корпусом ванны и деталью гальванической пары в соответствии с реализуемой схемой электрохимической очистки.

При выполнении очистных операций моющие средства загрязняются, в результате чего постепенно ухудшаются их свойства. Для продления срока службы использованные моющие средства подвергают регенерации, которая включает их очистку от загрязнений и восстановление физических и химических свойств.

Средства для наружной мойки кроме высокой активности к различным загрязнениям должны быть малотоксичными и пожаробезопасными, хорошо растворяться в воде и обладать биоразлагаемостью. В мониторинговых моечных машинах рекомендуется применять универсальные биоразлагаемые моющие средства.

При выполнении очистных операций выделяются пары щелочных растворов, кислот, растворителей, дизельного топлива, керосина и других веществ, которые вызывают раздражение дыхательных путей, попадание некоторых растворов на кожу может вызывать ожоги и ее сухость. Вредное действие оказывает также пыль, образующаяся при очистке деталей от нагара и ржавчины, поэтому на участках очистки необходимо соблюдать общие правила безопасности и применять специальные меры защиты работающих, учитывающие свойства применяемых веществ. При использовании моющих средств необходимо применять индивидуальные методы защиты – резиновые перчатки, специальные защитные пасты и мази.

Мойка агрегатов и деталей должна проводиться в специальном отделении с твердым полом и уклоном для стока моющих растворов. Моечные ванны оборудуют вытяжными зонтами. Рабочее помещение участка мойки необходимо оборудовать приточно-вытяжной вентиляцией, грязесборником и (или) установкой для очистки сточных вод. На участке необходимо обеспечить нормальный воздухообмен (кратность воздухообмена – 5), температура и влажность воздуха.

Тщательная наружная мойка автомобиля, ДВС является важным условием обеспечения высокой производительности труда, выполнения требований культуры производства и санитарно-гигиенических норм.

Конструкция очистных ММ и установок должна соответствовать требованиям Правил устройства электроустановок, Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правил безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей, а также Единым требованиям безопасности и производственной санитарии к конструкции ремонтно-технического оборудования, оснастке и технологическим процессам ремонта техники.

Вращающиеся и движущиеся части ММ должны иметь легкосъемные или открывающиеся защитные ограждения и быть окрашены в красный или желтый цвет. Боковые наружные поверхности камер и ванн, а также паропроводы должны иметь теплоизоляцию. Температура на ее поверхности у рабочего места оператора не должна превышать 45 °С.

Уровень звукового давления от шума, производимого машиной, не должен превышать установленных норм. Аналогичные требования предъявляются к уровню вибраций на рабочем месте оператора.

Для загрузки и разгрузки очистного оборудования деталями или контейнерами с деталями массой более 20 кг оно должно быть оснащено грузоподъемным и необходимыми транспортирующими устройствами.

Традиционным методом в большинстве случаев применения остается струйный способ очистки деталей от за-

грязнений потоками очищающих растворов под давлением. Использование ультразвуковой ванны дает сразу несколько преимуществ:

- повышение качества очистки;
- универсальность за счет отсутствия возможности удаления любых загрязнений;
- универсальность, что позволяет очищать любые поверхности;
- отсутствие механического воздействия на поверхность;
- полная безопасность и экологичность.

Одновременно по сравнению со струйной мойкой ультразвук обеспечивает субмикронную чистоту, не оказывает давления на поверхность, позволяет удалять загрязнения с труднодоступных поверхностей. Последнее актуально для обработки следующих типов деталей:

- изделия со сложной формой (узкие проходы, глубокие пазы и каналы, полости);
- детали в виде труб;
- тонкие и хрупкие детали;
- сложные по составу загрязнения.

Использование ультразвуковой технологии имеет высокую эффективность при чистке деталей ДВС, свечей, подшипников, карбюраторов, инжекторов. Ультразвуковая ванна эффективно удаляет следующие типы загрязнений:

- защитные и консервирующие смазки;
- окалина и ржавчина;
- пыль, нагар, флюсы, абразив, частички металла;
- жиры, масла любых типов.

Дополнительным преимуществом использования ультразвуковой ванны является простота её установки и отсутствие каких-либо пусконаладочных работ, что упрощает запуск в эксплуатацию процесса очистки деталей.

Ультразвуковая ванна работает с использованием принципа кавитации, который предполагает конвертацию электроэнергии в акустические звуковые волны. Они хорошо распространяются в жидкости, формируют очень мелкие пузырьки, которые направляются по направлению распространения ультразвука и быстро лопаются. Последний процесс бьет по загрязнениям, отрывая их от стальной поверхности, что и обеспечивает общую очистку. Данный процесс идет очень интенсивно, а общее количество подобных микроскопических ударов составляет несколько десятков тысяч за секунду. Происходит это даже в глухих полостях, узких каналах и других труднодоступных местах. Для повышения эффективности ванны имеют возможность корректировки частоты ультразвука, которая обычно составляет 20–50 кГц. Низкая частота формирует повышенные по диаметру кавитационные полости, которые формируют мощные волны, что ускоряет удаление нагара на деталях, абразива с поверхности. Высокочастотный ультразвук обеспечивает бережную очистку форсунок и других деталей в случае, когда необходима большая проникающая способность.

Контрольные вопросы

1. Какие моющие средства применяют в связи с разнообразием техники и видами загрязнений для очистки автомоби-

лей, ДВС и деталей узлов и механизмов их агрегатов и ремонте?

2. Назовите один из главных компонентов моющих растворов, применяемых для очистки поверхностей автомобилей, ДВС и деталей узлов и механизмов их агрегатов ...

3. Какие этапы используются при очистке деталей в растворяюще-эмульгирующих средствах (РЭС)?

4. Какие моющие средства получили наибольшее распространение во всех процессах мойки и очистки, в том числе и на ремонтных предприятиях?

5. Что представляют из себя ПАВ?

6. Какие растворы применяют для снятия старой краски?

7. Какое средство очищает поверхности деталей практически от всех видов?

8. В каком случае может быть достигнута качественная очистка объектов ремонта?

9. Чем определяется механический фактор?

10. Назовите основные типы моечных машин...

11. За счёт чего можно добиться повышения эффективности процесса очистки деталей?

12. Почему при работе со струйными моечными машинами в основном применяются щелочные растворы?

Часть 4. ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ НАПЛАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ДЕТАЛЕЙ ПОД НАПЛАВКУ

4.1. Подготовка наплавочных материалов

Качество сварочно-наплавочного ремонта деталей в значительной степени зависит от качества их подготовки, причём от подготовки присадочных материалов особенно. Присадочным материалом могут быть электроды (табл. 4.1, [46]), электродно-наплавочная проволока или лента.

Подготовка наплавочных материалов включает в себя следующие основные операции:

- для электродной проволоки сплошного сечения и ленты – удаление ржавчины и загрязнений;
- для порошковой проволоки и ленты – прокалка при 230–250 °С; число прокалок порошковой проволоки и ленты не ограничивается;
- для порошков – сушка при 100 –150 °С и при необходимости рассев;
- для покрытых электродов – прокалка при 150–350 °С в зависимости от марки электрода; прокалка не должна продолжаться менее 2-х часов, а превышение времени, положенного для прокалки допускается не больше, чем на 0,5 ч. При прокалке необходимо знать термические режимы для того или иного типа покрытия – стержни с целлюлозным покрытием сушить можно при температуре не выше 70 °С, иначе обмазка будет повреждена и осыплется;
- для флюсов – прокалка по режимам, зависящим от марки флюса; число прокалок флюса не ограничивается.

Таблица 4.1

Типы электродов для наплавки по ГОСТ 10051-75

Тип электрода для наплавки	Твёрдость HRC		Справочный материал	
	Без ТО после наплавки	После ТО	Марки электродов	Область применения
Э-10Г2	22,0–30,0	–	ОЗН-250У	Наплавка деталей, работающих в условиях интенсивных ударных нагрузок (осей, крестовин, валов и др.)
Э-11Г3	29,5–37,0	–	ОЗН-300У	
Э-12Г4	36,5–42,0	–	ОЗН-350У	
Э-15Г5	41,5–45,5	–	ОЗН-400У	
Э-30Г2ХМ	32,5–42,5	–	НР-70	
Э-16Г2ХМ	36,5–41,0	–	ОЗШ-1	
Э-35Г6	51,0–58,5	–	ЦН-4	
Э-65Х11Н3	27,0–35,0	–	ОМГ-Н	Наплавка деталей из сталей Г13 и Г13Л
Э-65Х25Г13Н3	25,0–37,0	–	ЦНИИН-4	
Э-95Х7Г5С	27,0–34,0	–	12АН/ЛИВТ	Наплавка деталей, работающих в условиях интенсивных ударных нагрузок с абразивным изнашиванием
Э-30Х5В2Г2СМ	51,0–61,0	–	ТКЗ-Н	
Э-80Х4С	57,0–63,0	–	13КН/ЛИВТ	Наплавка деталей, работающих в условиях преимущественно абразивного изнашивания
Э-320Х23С2ГРТ	56,0–63,0	–	Т-620	
Э-320Х23С2ГРТ	58,0–64,0	–	Т-590	
Э-350Х23С2ГРТ	59,0–64,0	–	Х-5	
Э-300Х28Н4С4	49,0–55,5	–	ЦС-1	Наплавка деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания с ударными нагрузками
Э-225Х10Г10С	41,5–51,5	–	ЦН-11	
Э-110Х14В13Ф2	51,0–56,5	–	ВСН-6	
Э-175Б8Х6СТ	53,0–58,5	–	ЦН-16	

Наплавочные электроды подразделяются на 6 групп. Эти группы не условны, их можно считать полноценной классификацией.

К первой группе относятся твердосплавные электроды для наплавки. Среди них можно выделить марки ОЗН-300М, ОЗН-400М, НР-70, ЦНИИН 4. С помощью таких электродов

можно наплавить слой металла, устойчивый к ударной нагрузке и трению. Еще одна важная характеристика – слой будет низколегированным и низкоуглеродистым.

С помощью второй группы электродов можно наплавить металл, который отличается низким содержанием легирующих элементов и средним содержанием углерода. Наплавленный слой также устойчив к ударным нагрузкам, в т.ч. при температурах до +600 градусов. Выделим марку ЭН-60М, электроды ЦН 14, ОЗШ-3 и ОЗИ-3.

Третья группа – это электроды для наплавки легированных и углеродистых покрытий, стойких к абразивному износу, хорошо выдерживающих ударные нагрузки. Основные марки: ОЗН-6, ОЗН-7, ВСН-6, Т-590.

Четвертая группа – электроды для наплавки высоколегированных и углеродистых покрытий, слои которых обладают стойкостью к высокому давлению и высоким температурам прямо во время эксплуатации. Следует выделить марки ОЗШ-6, УОНИ-13, ОЗИ-5.

В группу электродов для наплавки ещё входят марки, предназначенные для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами (кроме как для наплавки слоёв из цветных металлов). Их изготавливают и поставляют по требованиям ГОСТ 9466-75 и ГОСТ 10051-75.

Для наплавочных работ в некоторых случаях также используют сварочные электроды, например, марки, предназначенные для сварки высоколегированных коррозионно-стойких, жаростойких и жаропрочных сталей.

Согласно ГОСТ 10051-75 электроды для наплавки поверхностных слоев по химическому составу наплавленного металла и твердости при нормальной температуре классифицированы на 44 типа (например, марки типа Э-16Г2ХМ, Э-110Х14В13Ф2, Э-13Х16Н8М5С5Г46).

Наплавленный металл многих марок регламентируется техническими условиями предприятий-изготовителей.

В зависимости от принятой системы легирования и условий работы получаемого наплавленного металла электроды для наплавки (наплавочные электроды) могут быть условно разделены на следующие 6 групп:

1-я группа: Марки электродов для наплавки, обеспечивающие получение низкоуглеродистого низколегированного наплавленного металла с высокой стойкостью в условиях трения металла о металл и ударных нагрузок (по назначению к этой группе относятся некоторые марки электродов 3-й группы).

2-я группа: марки, обеспечивающие получение среднеуглеродистого низколегированного наплавленного металла с высокой стойкостью в условиях трения металла о металл и ударных нагрузок при нормальной и повышенной температурах (до 600–650 °С).

3-я группа: марки наплавочных электродов, обеспечивающие получение углеродистого, легированного (или высоколегированного) наплавленного металла с высокой стойкостью в условиях абразивного изнашивания и ударных нагрузок.

4-я группа: электроды наплавочные, обеспечивающие получение углеродистого высоколегированного наплавленного металла с высокой стойкостью в условиях больших давлений и высоких температур (до 650–850 °С).

5-я группа: электроды, обеспечивающие получение высоколегированного аустенитного наплавленного металла с высокой стойкостью в условиях коррозионно-эрозионного изнашивания и трения металла о металл при повышенных температурах (до 570–600 °С).

6-я группа: марки электродов для наплавки, обеспечивающие получение дисперсноупрочняемого высоколегированного наплавленного металла с высокой стойкостью в тяжелых температурно-деформационных условиях (до 950–1100 °С).

Необходимо отметить, что производство наплавочных работ требует применения специальной технологии, которая в зависимости от химического состава и состояния основного и наплавляемого металлов может включать обязательное выполнение таких операций, как предварительный и сопутствующий подогрев, термическую обработку для получения заданных эксплуатационных свойств наплавляемой поверхности.

Перед использованием присадочных материалов необходимо проверить их маркировку, а для электродов ещё и упаковку. Электроды следует хранить в сухих, отапливаемых помещениях при температуре ≥ 15 °С и влажности воздуха не выше 60 % (нормальные условия). Перед применением электроды необходимо просушить (прокалить) с использованием режимов, указанных в маркировке. Перед использованием

электродной проволоки и ленты надо их очистить, смыть с них бензином смазку, перемотать их на кассеты для заправки в наплавочные аппараты. Флюс перед на-плавкой просушивают при температуре 100–110 °С.

Предвестником новой промышленной революции и базисом шестого технологического уклада индустрии экономики страны являются аддитивные технологии, необходимые для полноценного развития цифровой экономики России.

Не в последнюю очередь это касается производства металлопорошковых композиций (МПК), расширения ассортимента применяемых наплавочных порошковых материалов.

Металлические порошки, изготовленные методом газовой атомизации (VIGA, EIGA и др.), имеют форму частиц с высоким коэффициентом сферичности (0,92–0,95) и довольно широкий гранулометрический состав (от 0,1 до 250 мкм) с высоким содержанием высокодисперсных (0,1–10 мкм) и мелких (10–20 мкм) фракций в количестве до 20% и более.

Наряду с такими требованиями к МПК для аддитивных технологий, как сферичность, высокая химическая однородность, низкое содержание газовых примесей, одним из важнейших принципов является обеспечение определенного гранулометрического состава с высоким выходом годного.

Получение МПК требуемого гранулометрического состава, например, 10–63 мкм, проводится последовательно в два этапа:

- на первом – отделение фракций размером менее 10–15 мкм из массы порошка, изготовленного на стадии газового распыления;

- на втором – отделение крупных фракций размером более 63 мкм с получением на выходе целевой фракции.

Первоочередное отделение высокодисперсных и мелких фракций необходимо в связи со склонностью таких частиц к агломерации из-за адгезии, что затрудняет последующий их рассев, а также из-за их малой массы и высокого аэродинамического сопротивления – высокодисперсные частицы при ситовом отсеве оказываются во взвешенном состоянии в рабочей камере установки, осаждаются на всех внутренних поверхностях, забивают ситовые ячейки. Поэтому при проведении отсева без отделения высокодисперсных и мелких фракций после отсева они могут содержаться как в плюсовых, так и минусовых фракциях.

Необходимость удаления высокодисперсных и мелких фракций применительно к технологии 3D-синтеза объясняется тем, что их присутствие в массе порошка из-за наличия адгезии приводит к агломерации частиц, что существенно ухудшает технологические свойства МПК:

- снижается текучесть;

- увеличивается угол естественного откоса,

означая, что скорость прохождения частиц порошка через тонкие элементы сечения (пересыпание и подача порошка в установках через бункеры-питатели) снижается вплоть до полного прекращения, ухудшаются также заполнение объемов и распределение порошка при создании рабочего слоя.

Наибольшее применение при расसेве в промышленных объемах тонких фракций порошков с величиной крупности 40–63 мкм в аддитивном, порошковом и гранульном производствах находят вибрационные установки (виброгрохоты) различных конструкций с горизонтальным или наклонным расположением ситовых полотен.

Существенную роль играет и температура сушки и прокалики флюсов. Она оговаривается паспортами, сертификатами, ТУ и другой технической документацией. Режимы прокалики отдельных флюсов приведены в табл. 4.2 [47].

Таблица 4.2
Режимы прокалики некоторых флюсов

Марка сварочного флюса	Режим прокалики		Марка сварочного флюса	Режим прокалики	
	температура, °С	время, ч		температура, °С	время, ч
АН-348А	300–350	1–1,5	АНК-30	350–400	1
ОСЦ-45	350–380	1,5–2	АНК-3	До 300	1–2
АН-22	450–500	2	АНФ-5	300–400	1–1,5
АН-26	270–350	2–3	АН-15М	750–900	2
48-ОФ-6	До 900	5	АН-20	300–400	2–2,5

Главную опасность для порошковой проволоки представляет увлажнение шихты, основными мерами по предотвращению которой являются правильное её хранение и прокалика перед сваркой.

Содержание водорода в наплавленном порошковыми проволоками слое металла повышается в случае увлажнения сердечника, ржавления ленты и железного порошка, входящего в состав шихты, а также при наличии остатков воло-

чительной смазки на поверхности порошковой проволоки (соответственно повышается и склонность наплавленного металла к пористости).

Хранить порошковую проволоку необходимо в сухом помещении. Без необходимости тару с проволокой не следует разгерметизировать. Оптимальный срок хранения проволоки не более 3–6 месяцев. При более длительном хранении прокатка проволоки обязательна. Для некоторых типов порошковой проволоки прокатка проводится на режимах, указанных в табл. 4.3 [47]. Перед прокаткой бухту проволоки необходимо распушить, т.е. ослабить стягивающие скрутки.

Таблица 4.3

Режимы прокатки порошковой проволоки

Марка проволоки	Режимы прокатки	
	температура, °С	время, ч
ЭПС-15/2	150–200	1–1,5
ПП-АН1	220–250	1–1,5
ПП-1ДСК	150–200	1
ПП-2ДСК	150–200	1
ПП-АН3	230–250	1,5–2
ПП-АН4	230–250	1–2
ПП-АН7	230–250	1–1,5
ПП-АН8	230–250	2
ПП-АН9	230–250	1,5–2

4.2. Подготовка деталей под наплавку

При подготовке деталей под наплавку в обязательном порядке должны быть соблюдены требования к конфигурации наплавляемой детали.

Поверхность, имеющую неравномерную выработку с большими колебаниями по высоте, выравнивают механическим путем на металлорежущем оборудовании.

При подготовке под наплавку поверхностей с локальными износами следует избегать плавных переходов наплавляемого металла к основному (рис. 4.1, [48]).

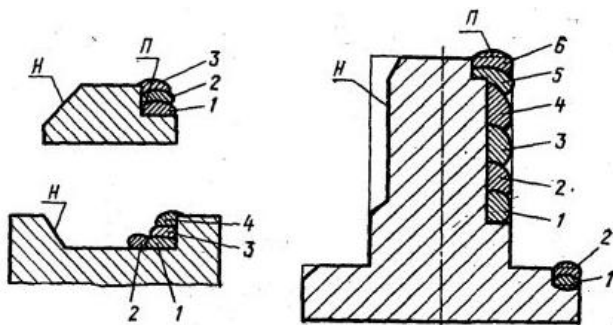


Рисунок 4.1 – Правильная (П) и неправильная подготовка поверхностей под наплавку [48]:

1–6 – последовательность наложения наплавочных валиков

Непосредственно перед наплавкой с поверхности подвергаемой восстановлению детали удаляют ржавчину, окалину, грязь металлической щеткой или пескоструйной обработкой до блеска, т.к. наличие на поверхности различных загрязнений ухудшает свариваемость основного и наплавленного металлов, загрязняет сварочный шов и способствует образованию пористости в наплавленном металле.

Наилучшим способом подготовки поверхностей к сварочной наплавке является пескоструйная очистка. Обезжиривание выполняют растворителем или нагревом поверхности до 300 °С.

С деталей, которые уже восстанавливались, сначала удаляют остатки нанесенного ранее слоя. Затем проводят процедуру очистки. Если износ не больше 1 мм, с места восстановления снимают слой на глубину 0,5–1 мм шлифовальным кругом или резцом. Это обеспечит однородность структуры нанесенного сплава.

Геометрические размеры наплавочных электродов приведены на рис. 4.2 и в табл. 4.4 [49].

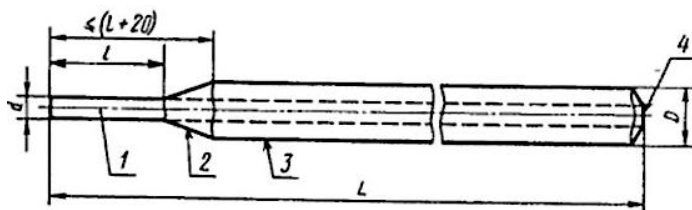


Рисунок 4.2 – Геометрические размеры наплавочных электродов:
1 – стержень; 2 – участок перехода; 3 – покрытие; 4 – контактный
торец без покрытия

Выбор диаметра электрода и величины сварочного тока при наплавочном ремонте деталей производят в зависимости от сечения восстанавливаемой детали, толщины наплавочного слоя и количества металла, необходимого для наплавки.

В таблице 4.5 приведены рекомендуемые диаметры электродов в зависимости от толщины восстанавливаемых наплавкой деталей [50].

Таблица 4.4

Размеры электродов для наплавки (по ГОСТ 9466-75)

Номинальный диаметр электрода, определяемый диаметром стержня, d	Номинальная длина электрода L (пред. отклонение ± 3 мм) со стержнем из сварочной проволоки		Длина зачищенного от покрытия конца l (пред. откл. ± 5)	
	низкоуглерод. или легированной	высоколегиров.		
1,6	200	150	20	
	250	200 (250)		
2,0	250 (300)	200 250 (300)		
	250 300 (250)	250 (300)		
3,0	300 350 (450)	300 350		
	350 450	350 (450)		
4,0	350	350		25
	450	(450)		

Примечания: В скобках - размеры применять ГОСТом не рекомендуется; Допускаются электроды номинальными диаметрами 3,15; 3,25; 6,3 и 12,5 мм.

Таблица 4.5

Рекомендуемые диаметры электродов в зависимости от толщины наплавочного слоя восстанавливаемой детали

Толщина восстанавливаемых наплавкой деталей, мм	Диаметр электродной проволоки, мм
До 3	2–3
От 3 до 4	3–4
От 6 до 10	4–5
Свыше	6

При наплавке изношенных поверхностей деталей с малой площадью наплавки необходимо выбирать электрод с величиной диаметра 2–3 мм, в остальных случаях – диаметром 4–5 мм.

Величину сварочного тока устанавливают в соответствии с выбранным диаметром электрода, типом электродного покрытия и положением наплавочного слоя в пространстве. При применении качественных электродов величину сварочного тока следует назначать по данным паспорта или сертификата на эти электроды.

В таблице 4.6 приведена рекомендуемая сила тока при сварочной наплавке в зависимости от диаметра электрода [50].

Таблица 4.6

**Рекомендуемая сила тока при сварочной наплавке
в зависимости от диаметра электрода**

Диаметр электрода d , мм	Сила тока I , А
2	50–70
3	80–130
4	80–130
5	140–200

Ориентировочно силу тока в зависимости от диаметра электрода можно определить по формуле:

$$I = 45 \cdot d,$$

где I – сила тока в А; d – диаметр электрода в мм.

Классификация электродов для наплавки (по ГОСТ 9466-95) включает условное обозначение электродов для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами – Н (индекс в условном обозначении).

По толщине покрытия электроды для наплавки подразделяются:

- с тонким покрытием – М ($D/d \leq 1,20$);
- со средним покрытием – С ($1,20 < D/d \leq 1,45$);

– с толстым покрытием – Д ($1,45 < D/d \leq 1,80$);

– с особо толстым покрытием – Г ($D/d > 1,80$),

где: D – диаметр покрытия, d – диаметр электрода, определяемый диаметром стержня.

По виду электродного покрытия наплавочные электроды подразделяются:

– с кислым покрытием – А;

– с основным покрытием – Б;

– с целлюлозным покрытием – Ц;

– с рутиловым покрытием – Р;

– с покрытием смешанного вида – соответствующее двойное условное обозначение;

– с прочими видами покрытий – П.

При наличии в составе покрытия железного порошка в количестве более 20 % к обозначению вида покрытия электродов добавляется буква Ж.

По допустимым пространственным положениям наплавки электроды подразделяются:

– для всех положений – 1;

– для всех положений, за исключением вертикального сверху вниз – 2;

– для нижнего, горизонтального на вертикальной плоскости и вертикального снизу вверх – 3;

– для нижнего и нижнего в лодочку – 4.

Пример условного обозначения электродов для наплавки (на этикетках, в маркировке коробок, пачек и ящиков):

Электроды типа Э-11ГЗ по ГОСТ 10051–75, марки ОЗН-300У, диаметром 4,0 мм, для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами Н, с толстым покрытием Д, обеспечивающие среднюю твердость 300НВ (HRCэ 33; ~300HV) – 300/33, без термической обработки после наплавки – 1, с основным покрытием Б, для наплавки в нижнем положении 4 на постоянном токе обратной полярности (0):

Э-11ГЗ-ОЗН-300У-4,0-НД Е-300/33-1-Б40	ГОСТ 9466-75, ГОСТ 10051-75
--	------------------------------------

Для проверки у наплавочных электродов сварочно-технологических свойств выполняется наплавка на один образец (пластина из Ст3 или стали, для наплавки которой предназначены электроды). Размер пластины – 120x80x20 мм (отклонение длины и ширины +/- 5 мм, отклонение толщины +/- 2 мм).

Наплавка на образец выполняется в четыре слоя в нижнем положении. Длина наплавки не менее 80 мм, ширина – не менее 8-и диаметров контролируемых электродов.

Для электродов, обеспечивающих среднюю твердость наплавленного HRCэ > 42 допускается наплавка в образцов в три или два слоя.

На наплавочных образцах проверка сплошности наплавленного металла проводится после снятия верхнего слоя на величину 1,5–3,0 мм. При средней твердости наплавленного металла HRCэ > 42 допускается зашлифовка поверхности наплавки без снятия верхнего слоя на величину 1,5–3,0 мм.

Для проверки химического состава наплавленного металла выполняется 8-слойная наплавка на образец (размеры выше), площадь наплавки – не менее 80x40 мм. Для электродов диаметром менее 5 мм толщина пластин не менее 4-х диаметров электрода.

Для электродов со средней твердостью наплавленного металла HRC_э > 42 допускается наплавка в пять слоев.

Проверка твердости наплавленного металла производится на поверхности 8-слойной или 5-слойной наплавки, выполненной для проверки химического состава наплавленного металла.

4.3. Некоторые аспекты предварительной подготовки коленчатого вала ДВС к сварочной наплавке

Наибольшему износу у ДВС подвержены:

– Цилиндры ДВС. Внутри них происходит процесс горения. Температура горючих газов достигает до 2200–2500 °С. Часть металла может выгорать. На внутренней поверхности образуются задиры, повреждается зеркало цилиндра.

– изнашиваются поршни, они совершают миллионы возвратно-поступательных движений. В результате происходит износ по наружной их поверхности. Уплотнение достигается использованием компрессионных и маслосъемных колец, изготавливаемых из ковкого чугуна. Канавки, в которые устанавливают кольца, изнашиваются.

– Нагрузку от поршней получают шатуны. Они опираются на поршневые пальцы и шатунные шейки. В зоне контакта

происходит износ. Увеличивается зазор в пальцах и шатунных шейках.

– Коленчатый вал ДВС устанавливается на опоры и после совершения нескольких десятков миллионов оборотов у него изнашиваются коренные шейки. Зазоры увеличиваются. Моторное масло перестает поступать к шатунам и вытекает через неплотности снова в картер.

Самый сложный узел ДВС и одновременно самая дорогая деталь в двигателе автомобиля – коленчатый вал. Он подвергается наибольшим нагрузкам и износу, поэтому ему необходим сложный дорогостоящий ремонт. Детонационный стук, появляющийся у ДВС, часто является признаком проблем с подшипниками, и, если эти проблемы игнорируются, велика вероятность того, что шейки коленчатого вала будут, в итоге, серьезно повреждены. В некоторых случаях, когда шейки повреждены настолько сильно, что их невозможно отремонтировать шлифованием, возникает необходимость в выполнении наплавки шеек коленчатого вала.

Изобилие в российском интернете запросов на ручную и механизированную наплавку для ремонта ДВС и их деталей свидетельствует об актуальности данной проблемы и о том, что предложение таких услуг существенно отстает от спроса.

Наплавка металла на коленчатый вал – это процесс, с помощью которого новый материал наплавляется на шейку коленчатого вала или упорную поверхность. Наплавка этого нового материала необходима в силу того, что для коленчатого вала, шейки которого были отшлифованы под их первоначальный размер, доступно только строго определённое

количество подшипников. Стандартные подшипники увеличенного ремонтного размера предлагаются в метрических размерах 0,25 мм, 0,50 мм и 0,75 мм.

Как и в любых других случаях, когда необходимо осуществить наплавку, коленчатый вал должен быть надлежащим образом очищен от загрязнений, для того чтобы обеспечить максимальное сцепление и заполнение трещин и полостей наплавляемым материалом.

В процессе эксплуатации ДВС подшипниковый материал часто переносится и «внедряется» в ремонтируемую шейку коленчатого вала, поэтому этот внедрившийся материал вкладышей необходимо полностью удалить с шейки коленчатого вала путем предварительной шлифовки шейки на шлифовальном станке.

Шейки коленчатых валов ДВС с высокими эксплуатационными характеристиками могут иметь закаленную поверхность и эти поверхности также следует шлифовать, чтобы исключить потенциальные проблемы.

При надлежащей подготовке шеек или упорных поверхностей перед наплавкой наплавленные участки становятся более прочными и не имеют дефектов.

В силу того, что коленчатые валы ДВС имеют масляные каналы, с помощью которых во время работы двигателя масло подаётся к подшипникам. Отверстия масляных каналов должны быть надлежащим образом защищены перед наплавкой материала. В противном случае, они окажутся заваренными. Для этого некоторые операторы сварочно-наплавочных машин используют углеродные или керамические

заглушки, которые вставляют в отверстия масляных каналов. Другие операторы предпочитают на короткое время останавливать процесс наплавки в тот момент, когда наплавляемый материал подходит к отверстию, в то время как коленчатый вал продолжает медленно вращаться в патроне сварочно-наплавочной машины. Независимо от используемого метода оператор должен добиться того, чтобы масляные отверстия оставались свободными от препятствий.

Сварочно-наплавочная машина для наплавки шеек коленчатого вала имеет один или два патрона и позволяет производить наплавку на коренные и шатунные шейки коленчатого вала за один проход без необходимости перенастраивать сварочно-наплавочный аппарат.

Во время наплавки шеек коленчатого вала используется флюс, выполняющий функцию защиты сварочной проволоки, которая входит в контакт с шейкой. Флюс не пропускает кислород и азот воздуха, а также другие нежелательные химические элементы к месту наплавки с тем, чтобы они не могли отрицательно повлиять на качество выполняемого сварочно-наплавочного слоя. Поскольку коленчатые валы изготавливают из различных материалов, включая чугун и ковкую сталь марки 4340, необходимо использовать соответствующий сварочный флюс и проволоку.

Сварочные проволока и флюс имеют различные характеристики и свойства, а, соответственно, подходят для различных типов ремонта. Некоторые специалисты по сварке используют специальную более мягкую, более гибкую проволоку для радиальных участков изношенных участков и бо-

лее твердую проволоку – для шеек коленчатого вала. Это правило распространяется и на флюсы: более мягкие сорта флюса лучше подходят для наплавки материала на радиальные участки, а более твердые – для наплавки шеек.

Отдельные специалисты полагают, что дуговая сварка под флюсом по сравнению со сваркой открытой дугой имеет преимущества, поскольку коленчатый вал меньше деформируется при сварке под флюсом.

Перед наплавкой коленчатый вал проходит предварительную подготовку – диагностику (проверку) на прямолинейность, величину и геометрию (овальность, конусность, бочкообразность) износа шеек, схема которой представлена на рис. 4.3 [51].

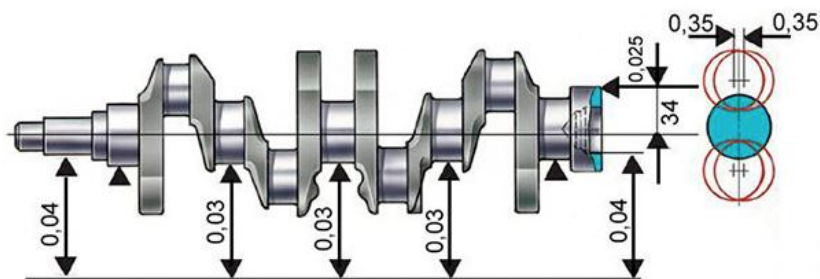


Рисунок 4.3 – Схема диагностики коленчатого вала

Коленчатый вал перед проведением диагностики необходимо разобрать – удалить шпонки, извлечь из масляных канавок заглушки и пробки, выпрессовать подшипник первичного вала коробки передач, снять противовесы. Разобранный коленчатый вал очистить от асфальто-смолистых, масляных и других загрязнений.

При ремонте и восстановлении коленчатых валов их диагностика (дефектовка) является наиболее важной и ответственной операцией, т.к. от правильного и своевременного выявления дефектов зависит качество восстановительного ремонта коленчатых валов.

Коленчатые валы имеют такие износы и дефекты, как:

- износы и задиры коренных и шатунных шеек (в первую очередь);
- прогибы;
- трещины на шейках вала (чаще в районах галтелей или отверстий для смазки);
- износ шейки под распределительную шестерню, стенок шпоночных канавок, а также упорного установочного буртика шейки;
- радиальное и торцевое биение фланца маховика;
- износ посадочных отверстий под подшипник первичного вала;
- грязевые отложения в полостях шатунных шеек;
- износ посадочных отверстий под сальник;
- образование канавки на шейке;
- отверстий под штифты крепления маховика резьбовых соединений.

Такие местные дефекты как износ шпоночных канавок и отверстий под штифты восстанавливаются наплавкой вручную. Другие дефекты, связанные с износом, устраняются сварочной наплавкой под флюсом.

Коленчатый вал на первом этапе диагностики укладывается крайними коренными шейками на две призмы, уста-

новленные на металлической плите. С помощью стрелочного индикатора, установленного на стойке, проверяется прогиб оси коленчатого вала по мере его вращения. Изгиб не должен превышать для легковых ДВС 0,05 мм, а для грузовых ДВС 0,1 мм.

Чрезмерный изгиб коленчатого вала (биение средней коренной шейки относительно крайних) устраняют правкой на прессе. Для этого коленчатый вал, имеющий сверхнормативный изгиб, устанавливают крайними коренными шейками на призмы и штоком пресса через медную или латунную прокладку прикладывают усилие P к средней шейке со стороны, противоположной изгибу (рис. 4.4, [52]). При этом прогиб должен быть примерно в 10 раз больше устраняемого изгиба. Коленчатый вал выдерживают под нагрузкой с усилием P в течение 2–4 мин.

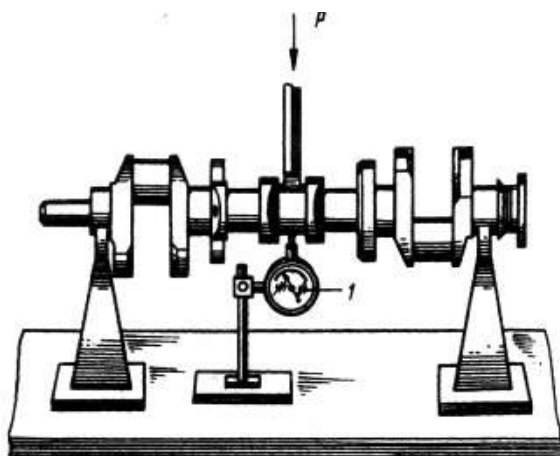


Рисунок 4.4 – Правка коленчатого вала:
1 – индикатор; P – усилие пресса

В случае приведения изгиба коленчатого вала к нормативному значению по результату повторной проверки после устранения (правки) биения средней коренной шейки коленчатого вала относительно крайних шеек, рекомендуется подвергнуть коленчатый вал термической обработке – нагреть до 180–200 °С и выдержать при этой температуре в течение 5–6 ч.

После устранения правкой изгиба коленчатого вала у него проверяют радиальное биение коренных шеек, а также смещение осей шеек от плоскости, проходящей через оси шатунных и коренных шеек, и неперпендикулярность торцевой поверхности фланца по отношению к оси коленчатого вала. Биение проверяют по средней коренной шейке. Оно должно быть не более 0,025–0,060 мм (в зависимости от модели двигателя).

Если шейки коленчатого вала имеют глубокие риски, неравномерный износ, задиры и овальность свыше 0,05 мм, их шлифуют до ближайшего ремонтного размера с определенным уменьшением по диаметру относительно номинального размера (у автомобилей ВАЗ, «Фиат», «Форд», «Тойота», как правило, на 0,25; 0,50; 0,75 и 1,00 мм) с последующим полированием алмазной пастой или пастой ГОИ и промывкой масляных каналов.

Если размеры дефектов коленчатого вала вышли за пределы, предусмотренные для восстановления методом ремонтных размеров, принимается решение о сварочной наплавке шеек коленчатого вала. Обычно такие дефекты наблюдаются применительно к шатунным и коренным шейкам

коленчатого вала – уменьшение диаметра, отклонения геометрической формы (конусность и бочкообразность), трещины, задиры и другие механические повреждения. При этом размеры коренных и шатунных шеек проверяют скобами СР (ГОСТ 11098-64), настроенными по концевым мерам. Взаимное расположение шеек, а также радиус кривошипа определяют контрольными приспособлениями 70-8735-1021 и 70-8735-1028, а шероховатость поверхностей шеек – профилометром модели 296. Радиальное биение не должно превышать для средних коренных шеек и шеек под распределительную шестерню 0,03 мм, а для фланца маховика и шейки под уплотнение (сальник) заднего коренного подшипника 0,05 мм. Непараллельность осей шатунных шеек относительно оси вала на длине 100 мм не должна быть больше 0,02 мм. Замер радиуса кривошипа и отклонение от параллельности оси шатунных шеек относительно коренных шеек можно провести на контрольной плите (рис. 4.5, [52]).

Отклонения от параллельности (разность максимальных показаний индикаторов в точках b и b'), в т.ч. конусообразность шейки допустима на длине 100 мм менее 0,03 мм. Смещение осей шатунных шеек относительно общей плоскости, проходящей через первую коренную и первую шатунную шейки, допускается максимально $20'$ в обе стороны от нормального положения.

Отклонения от цилиндрической формы шейки допускаются не более 0,015 мм.

Перед восстановительной наплавкой шатунных и коренных шеек стальных коленчатых валов изношенная по-

верхность шеек механически зачищается абразивной шкуркой до блеска.

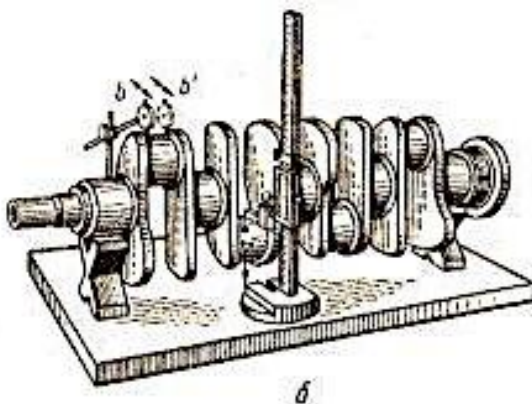
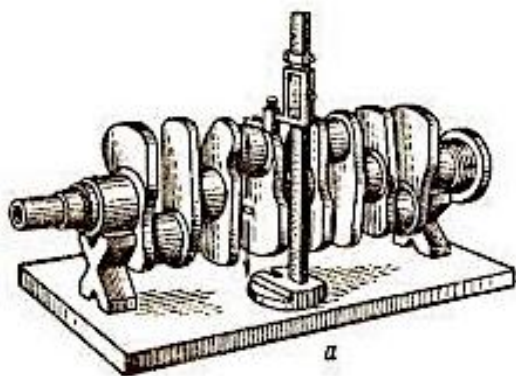


Рисунок 4.5 – Проверка коленчатого вала на контрольной плите:

a – радиуса кривошипа; *б* – параллельности коренных и шатунных шеек

Отклонения от цилиндрической формы шейки допускаются не более 0,015 мм.

Перед восстановительной наплавкой шатунных и коренных шеек стальных коленчатых валов изношенная по-

верхность шеек механически зачищается абразивной шкуркой до блеска.

После наплавки и механического снятия припуска наплавки шатунных и коренных шеек стальных коленчатых валов осуществляется их шлифование с соблюдением следующих условий:

- конечный размер шеек должен быть с допуском $+0,01-0,015$ мм;
- непараллельность шатунных шеек относительно коренных на всей длине шатунной шейки – не более $0,015$ мм;
- овальность и конусность шеек – не более $0,005$ мм;
- шероховатость поверхности коренных шеек – не более $0,02$ мкм;
- биение центральной коренной шейки – менее $0,02$ мм.

Соблюдение данных условий проверяется согласно схеме диагностики коленчатого вала (см. рис. 4.3).

После установки прошедшего итоговый контроль восстановленного коленчатого вала в блок цилиндров ДВС необходимо проверить его осевой люфт. Люфт не должен превышать допустимых значений производителя, в противном случае шатун будет клинить на шейке вала. В этом случае шатунные подшипники будут иметь характерный «диагональный» износ.

Для проверки осевого люфта восстановленного коленчатого вала на блок цилиндров ДВС устанавливают кронштейн с индикатором часового типа с упором его ножки во фланец коленчатого вала (рис. 4.6, [52]).

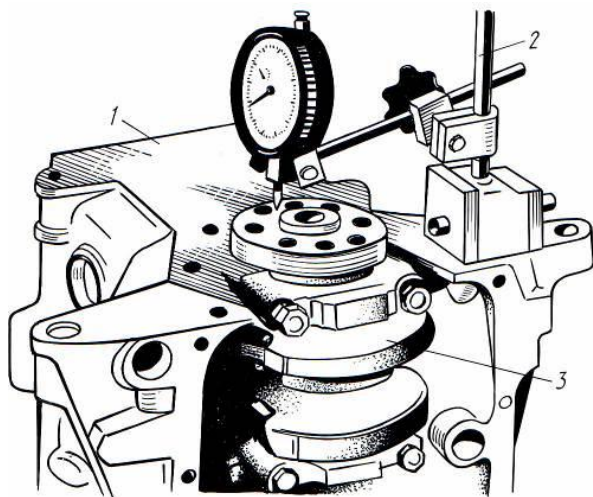


Рисунок 4.6 – Проверка осевого люфта коленчатого вала индикатором часового типа:

1 – блок цилиндров; 2 – крепление индикатора; 3 – коленчатый вал

Перемещая коленчатый вал вверх или вниз (например, отвертками), измеряют люфт. У автомобилей ВАЗ-2109 он должен находиться в пределах 0,06–0,26 мм, «Опель Рекорд» с двигателем 21D – 0,030–0,130 мм, «Опель Рекорд» с двигателем 20S – 0,043–0,156, БМВ – 0,085–0,174 мм, «Ауди 80D», «Фольксваген» – 0,07–0,17 мм. Предельный осевой люфт для всех двигателей – 0,35–0,37 мм.

При отсутствии индикатора осевой люфт с меньшей точностью можно измерить с помощью набора щупов. Для этого вставляют отвертку между первым кривошипом вала и передней стенкой блока цилиндров (рис. 4.7, [52]) и, действуя ею как рычагом, отжимают вал к задней части двигателя. Затем с помощью щупа определяют зазор между торцом

задней шайбы упорного подшипника и плоскостью бурта первой коренной шейки.

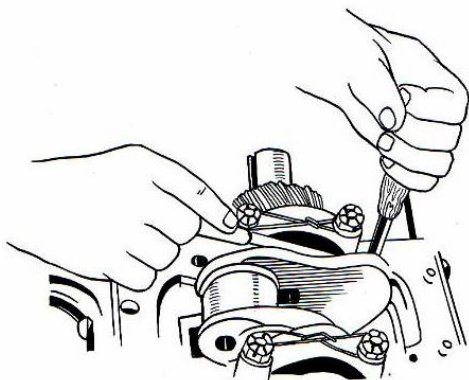


Рисунок 4.7 – Проверка осевого люфта коленчатого вала щупом

Если осевой люфт оказывается больше нормы, его регулируют с помощью полуколец, заменив старые полукольца новыми или установив полукольца увеличенной толщины (рис. 4.8, [52]).

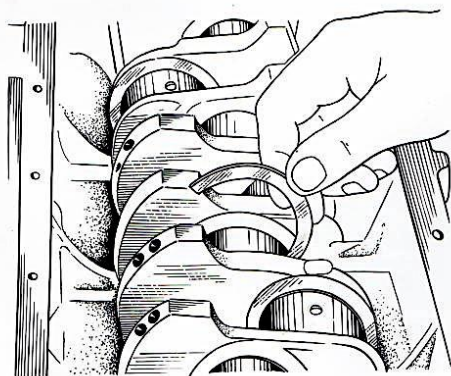


Рисунок 4.8 – Установка упорных полуколец коленчатого вала в гнезда среднего коренного подшипника

После ремонта коленчатый вал собирается с теми же маховиком и сцеплением, которые стояли на нем до ремонта. Сцепление необходимо устанавливать на маховик по заводским меткам или меткам, нанесенным твердым предметом на обеих деталях, одна против другой, около одного из болтов крепления кожуха сцепления к маховику.

Маховик, прилегающий к фланцу коленчатого вала, может иметь следующие повреждения: износ, риски, задиры и микротрещины на рабочей поверхности, выкрашивание зубьев венца, износ зубьев по длине, износ отверстий под болты крепления к коленчатому валу, повреждение резьбы в отверстиях, появление цвета побежалости. На поверхности маховика, прилегающей к фланцу коленчатого вала (рис. 4.9, [52]), и на поверхности 3 под ведомый диск сцепления не допускаются царапины и задиры. Неплоскостность поверхности 3 должна находиться в пределах 0,06–0,1 мм.

Неплоскостность маховика проверяется с помощью щупа при его установке на поверочную плиту. Царапины и задиры на поверхности 3 удаляются протачиванием со снятием слоя металла толщиной не более 1 мм с последующей зачисткой абразивной шкуркой. При этом протачивают также и поверхность 2, не затрагивая зубчатый венец и выдерживая размер $0,5 \pm 0,1$ мм. При протачивании необходимо обеспечить параллельность указанных поверхностей относительно поверхности 1, прилегающей к фланцу коленчатого вала. Непараллельность не должна превышать 0,1 мм.

Торцевое биение маховика проверяется по крайним точкам поверхностей 2 и 3 после установки маховика на оп-

равку и центровки его по посадочному отверстию. Оно не должно превышать 0,1 мм.

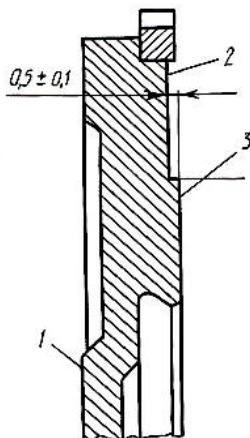


Рисунок 4.9 – Маховик:

1 – поверхность, прилегающая к фланцу коленчатого вала; 2 – место проверки поверхности для крепления сцепления; 3 – место проверки биения опорной поверхности ведомого диска сцепления

Если маховик имеет цвет побежалости на поверхности 3 под ведомый диск сцепления, необходимо проверить натяг обода на маховике. Обод не должен проворачиваться при крутящем моменте 590 Нм (60 кгсм) и сдвигаться в осевом направлении при усилии 3,9 кН (400 кгс).

При небольшом износе торцов зубьев маховика достаточно зачистить торцы на шлифовальном станке. При выкрашивании зубьев маховика и значительном их износе по длине зубчатый венец подлежит замене. Учитывая то, что у зубчатого венца торцы зубьев изнашиваются со стороны входа в зацепление шестерни стартера и боковые стороны зубьев на дуге 200–230 мм, при отсутствии нового венца можно

использовать старый. Для этого спрессованный венец поворачивают на 180 градусов вокруг вертикальной оси и на 90 градусов вокруг оси вращения. Чтобы облегчить напрессовку нового венца, рекомендуется нагреть его до температуры 180–220 °С. Во избежание возникновения отпуски зубьев не следует превышать указанную температуру.

После замены зубчатого венца маховик необходимо статически отбалансировать путем высверливания лишнего металла со стороны крепления сцепления. Высверливаемые отверстия должны иметь глубину не более 15 мм, а дисбаланс маховика не должен превышать 35 гсм.

Если устанавливается новый маховик, на нем может быть только метка для установки первого поршня в ВМТ (рис. 4.10, [52]). В этом случае необходимо наносить на маховике метку для установки угла опережения зажигания согласно рекомендациям предприятия-изготовителя.

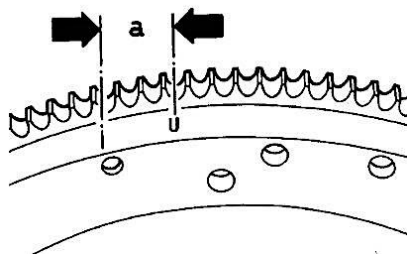


Рисунок 4.10 – Метки для нового маховика:

i – наносимая метка для установки зажигания; u – заводская метка для установки первого поршня в ВМТ

Перед установкой на двигатель коленчатый вал подвергают динамической балансировке на балансировочном станке. Предварительно необходимо сцентрировать ведомый диск сцепления с помощью ведущего вала от старой ко-

робки передач или специальной оправки. Дисбаланс устраняют высверливанием металла в противовесах коленчатого вала или ступице маховика.

Балансировка коленчатого вала важна и нужна после производства любых операций с ним. Коленчатый вал, как и маховик, являясь массивной подвижной частью кривошипно-шатунного механизма, должен вращаться равномерно, без биений. Для этого выполняют его балансировку, подбор и крепление уравнивающих грузов для обеспечения его полной динамической уравновешенности.

Кроме динамической уравновешенности существует и статическая балансировка, при которой деталь уравнивают противовесом в произвольно выбранной плоскости, исходя из условия, что деталь находится в равновесии, если ее центр тяжести лежит не на оси вращения. Динамическая балансировка обеспечивает большую точность, чем статическая. Поэтому коленчатые валы, к которым предъявляются повышенные требования относительно уравновешенности, балансируют динамически.

Динамическую балансировку выполняют на специальных балансировочных станках (рис. 4.11).

На раме 1 на стойках 4 устанавливают коленчатый вал 5. Рама 1 связана непосредственно со станиной неподвижным шарниром 2, вокруг которого она может поворачиваться, а также упругой опорой 3.

Балансировку коленчатого вала производят в плоскостях I-I и II-II в два этапа. Сначала плоскость I-I проходит через ось неподвижного шарнира 2, и балансировку осуществ-

ляют в плоскости $II-II$; затем через ось неподвижного шарнира 2 проходит плоскость $II-II$ и балансировку проводят в плоскости $I-I$.

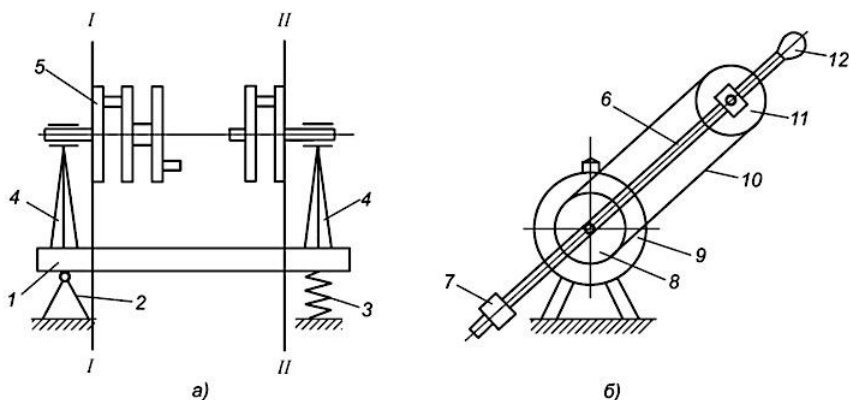


Рисунок 4.11 – Балансировочный станок:

а – конструкция; *б* – схема привода; 1 – рама; 2 – неподвижный шарнир; 3 – упругая опора; 4 – стойки; 5 – коленчатый вал; 6 – стержень; 7 – груз; 8, 11 – шкивы; 9 – электродвигатель; 10 – лента; 12 – рукоятка; $I-I$, $II-II$ – балансировочные плоскости рамы 1 на упругой опоре 3

Коленчатый вал приводится во вращение с помощью специального привода. Шкив 8, закрепленный на валу электродвигателя 9, связан лентой 10 со шкивом 11, закрепленным на стержне. Натяжение ленты регулируют перемещением шкива 11 по стержню 6. Стержень со шкивом уравнивается грузом 7.

Если при включенном электродвигателе ленту прижать к плоскости коленчатого вала с помощью рукоятки 12, то вследствие трения вал также начнет вращаться. При достижении требуемой угловой скорости с помощью рукоятки 12 привод отводят от вала.

При вращении коленчатого вала центробежные силы приведенных масс оказывают динамическое воздействие, вызывая колебания, амплитуда которых зависит от степени неуравновешенности вала, упругих свойств опоры 3 и режима работы. Балансировку проводят или на резонансном режиме, или при значительно превышающих резонансные угловых скоростях.

Для полного уравнивания вала необходимо опытным путем определить массу и положение уравнивающих грузов в плоскостях I-I и II-II, т.е. найти диаметрально противоположные плоскости, в которых эти грузы необходимо установить, и определить их статические моменты относительно оси вращения коленчатого вала.

Балансировочные станки оборудованы специальной измерительной аппаратурой – устройством, которое определяет нужное положение уравнивающего груза. Массу груза определяют последовательными пробами, ориентируясь на показания приборов.

В процессе эксплуатации ДВС происходит некоторое увеличение дисбаланса деталей, узлов, агрегатов вследствие появления неравномерных износов рабочих поверхностей, деформаций, смещения сопряженных деталей в узлах относительно оси вращения, образования повышенных зазоров в соединениях. Наибольшее увеличение дисбаланса происходит в процессе ремонтных воздействий. Если после заводской конвейерной сборки и балансировки изделие доводится до кондиции, то при ремонте происходит:

– перекомплектование деталей, в результате чего иное сочетание вращающихся в едином комплекте деталей дает смещение и центра масс и, что более серьезно, сложение сонаправленных векторов дисбалансов, привнесенных в этот комплект;

– возникновение деформаций при механической и термической обработке;

– смещение осей одних деталей относительно других из-за изношенности отверстий (например, корзины сцепления), т.е. неточности сборки.

В итоге 93–96 % коленчатых валов требуют балансировки.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные операции подготовки наплавочных материалов.
2. Назовите основные наплавочные материалы.
3. Назовите типы электродов для наплавки.
4. Какие наплавочные материалы подвергаются прокалке для наплавки?
5. От чего зависит режим прокалки (температура, продолжительность) покрытых электродов перед наплавкой?
6. Назовите число прокалок наплавочных материалов и флюса?
7. Что следует сделать перед использованием для наплавки с электродами, электродной проволоки, ленты и флюса?

8. Какие порошки имеют форму частиц с высоким коэффициентом сферичности (0,92–0,95) и довольно широкий гранулометрический состав?
9. Что необходимо сделать перед прокалкой бухты проволоки?
10. Какие требования в обязательном порядке должны быть соблюдены при подготовке деталей под наплавку?
11. Чего следует избегать при подготовке под наплавку поверхностей с локальными износами?
12. Какой способ подготовки поверхностей к сварочной наплавке является наилучшим?
13. В зависимости от чего производят выбор диаметра электрода и величины сварочного тока при наплавочном ремонте деталей?
14. Какие детали у ДВС подвержены наибольшему износу?
15. Какие операции являются наиболее важными и ответственными при ремонте и восстановлении коленчатых валов?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе эксплуатации машин нарушение их нормальной работы происходит в первую очередь вследствие износа отдельных поверхностей деталей (приблизительно 80 % всех случаев), а именно – повреждений (истирания и задигов поверхностей, деформаций, поломок, коррозионных и эрозионных разрушений), а также в результате разрегулирования отдельных механизмов и устройств. Эти нарушения происходят непрерывно и внезапно (аварии).

По опыту проведения капитальных ремонтов автотранспортных средств известно, что повторно можно использовать до 70 % демонтированных деталей. С экономической точки зрения стоимость работ по повторной установке годных деталей, не требующих дополнительных восстановительных мероприятий силами авторемонтного предприятия, составляет не более 10% от стоимости аналогичных новых деталей.

При использовании деталей, требующих восстановления, стоимость их установки с учетом восстановления не превысит 40 % цены новых деталей, тогда как установка новых деталей обойдется в 110–150 % их собственной стоимости.

На современном этапе развития ремонтно-восстановительного производства, когда остро встает вопрос о материальных, энергетических и трудовых ресурсах, нельзя рассматривать ремонт и восстановление в узком разрезе этих производств и не учитывать экономическую целесообразность этих процессов.

Качественный ремонт изношенных поверхностей деталей машин имеет большое значение для повышения долговечности и надежности работы узлов и механизмов машин посредством своевременного восстановления работоспособности изделий в минимально возможные сроки и с наименьшей затратой труда, материалов и денежных средств, а также для снижения эксплуатационных расходов. В свою очередь, реновация деталей машин, как комплекс технологических и организационных мероприятий, направленных на восстановление или придание рабочего ресурса изделиям, в значительной степени зависит от технологий подготовки ремонтных заготовок узлов и механизмов автомобилей, включающих методы и средства очистки изношенных поверхностей деталей, используемого оборудования и технологий подготовки наплавочных материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Требования к техническим характеристикам смачивателей. – URL: <https://fireman.club/inseklodepia/smachivatel/> (дата обращения: 16.10.2022).

2. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе [и др.]; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – Москва: Машиностроение, 2003. – 576 с.

3. Стребков, С.В. Технология ремонта машин: учебное пособие / С.В. Стребков, А.В. Сахнов. – Москва: ИНФРА-М, 2019. – 222 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). – www.dx.doi.org/10.12737/21917. – ISBN 978-5-16-105182-5. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/989542> (дата обращения: 23.02.2023).

4. Технология ремонта машин: учебник / В.М. Корнеев, В.С. Новиков, И.Н. Кравченко [и др.]; под ред. В.М. Корнеева. – Москва: ИНФРА-М, 2019. – 314 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). – www.dx.doi.org/10.12737/textbook. – ISBN 978-5-16-106257-9. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/989548> (дата обращения: 23.02.2023).

5. Пучин, Е.А. Технология ремонта машин / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.А. Очковский [и др.]; под ред. Е.А. Пучина. – Москва: Колосс, 2011. – 448 с.

6. Моечная машина серии «ТС». Руководство по эксплуатации и паспорт. МОТХ 0002.00.00.00.003 РЭ и ПС. – Омск: Техносоюз, 2010. – 26 с.

7. Технология ремонта машин. Очистка деталей машин: метод. указания к лаб.-практ. работе / Новосиб. гос. аграр.

ун-т., Инж. ин-т; сост. В.Н. Хрянин, А.В. Пчельников. – Новосибирск, 2020. – 28 с.

8. Химия очистки деталей. – URL: <https://moykadvs.ru/category/moyuschie-sredstva/> (дата обращения: 17.03. 2023).

9. Автоматические мойки деталей и агрегатов. – URL: <https://moykadvs.ru/category/avtomaticheskie-moyki-detaley/> (дата обращения: 17.03.2023).

10. Браун, Э.Д. Основы трибологии (трение, износ, смазка) / Э.Д. Браун [и др.]; под. ред. А.В. Чичинадзе. – Москва: Центр «Наука и техника», 1995. – 778 с. – ISBN 5-900359-10-7.

11. Справочник по триботехнике; под общ. ред. М. Хебды; А.В. Чичинадзе. – Москва: Машиностроение, 1989. – 400 с. – ISBN 5-217- 00616-1.

12. Крагельский, И.В. Основы расчётов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – Москва: Машиностроение, 1977. – 526 с.

13. Трение, износ, смазка (ТИС): научно-технический электронный журнал. – URL: [http:// www.tribo.ru](http://www.tribo.ru).

14. Трение и износ: научно-технич. электр. журнал // Совместное издание АН Республики Беларусь и АН РАН. – URL: <http://www.mpri.org.by>.

15. АВТОСЛЕСАРЬ: устройство, техническое обслуживание и ремонт автомобилей: учеб. пособие / Ю.Т. Чуманенко, Б.Б. Герасименко, А.И. Рассанов; под ред. А.С. Трофименко. Ростов-на-Дону: Феникс, 2001. – 576 с. – ISBN 5-222-01419-3.

16. Трение и износ в машинах: практикум для студентов технических специальностей / П.Н. Богданович, С.П. Богдано-

вич, А.А. Кривенков // М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2014. – ISBN 978-985-468-639-4.

17. Анализ видов изнашивания рабочих поверхностей деталей: учеб.-метод. пособие / Ю.М. Лужнов, Ю.Н. Калачёв, В.Д. Александров, М.В. Морщилов. – Москва: МАДИ, 2018. – 48 с.

18. Белевитин, В.А. Упрочнение и восстановление деталей машин: справочное пособие / В.А. Белевитин, А.В. Суворов. – Челябинск: Изд-во Челяб. гос. пед. ун-та, 2014. – 231 с.

19. Усталость материала. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Усталость_материала (дата обращения: 11.03.2023).

20. Межкристаллитная коррозия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Межкристаллитная_коррозия (дата обращения: 10.03.2023).

21. Иванов, В.П. Совершенствование организации восстановления деталей / В.П. Иванов // Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь. – 2001. – № 4. – С. 97–102. https://elib.psu.by/bitstream/123456789/16527/1/Иванов%20В_П_2001_Совершенствование%20организации%20восстановления%20деталей.pdf.

22. Специальный курс ремонта автотранспортных средств: учеб. пособие / В.П. Апсин, Е.В. Бондаренко, А.П. Пославский, Е.Г. Кеян, В.В. Сорокин. – Оренбург: ИПК ГОУ ВПО ОГУ, 2008. – 172 с. – URL: http://elib.osu.ru/bitstream/123456789/8669/1/2662_20110923.pdf.

23. Классификация видов трения. – URL: <https://poisk-ru.ru/s12091t7.html>. (дата обращения: 14.03.2023).

24. Изнашивание: виды, характеристики механизмов изнашивания. – URL: <https://extxe.com/28501/iznashivanie-vidy-harakteristiki-mehanizmov-iznashivaniya/> (дата обращения: 15.03.2023).

25. Износ оборудования. Виды износа?. – URL: <https://burforum.ru/obrabotka-stali/estestvennyj-iznos-detalej.html> (дата обращения: 15.03.2023).

26. Снижение усталостного износа подшипников. – URL: http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/71300/pavel-ko_vkr.pdf?sequence=1 (дата обращения: 15.03.2023).

27. Доценко, А.И. / А.И. Доценко, И.А. Буяновский // Основы триботехники: учебник. – Москва: Инфра-М, 2019. – 336 с. – ISBN 978-5-16-014515-0.

28. Филиппов, М.А. Трение и антифрикционные материалы: учеб. пособие / М.А. Филиппов, О.Ю. Шешуков. – Екатеринбург: Изд-во Урал. уни-та. – 2021. – 204 с. – ISBN 978-5-7996-3389-9.

29. Виды изнашивания деталей машин. – URL: <https://cut-video.ru/1-osnovnyye-ponyatiya-terminy-i-pokazateli-iznashivaniya/>. (дата обращения: 15.03.2023).

30. Основные положения теории внешнего трения. – URL: <https://infopedia.su/22хес8е.html> (дата обращения: 16.03.2023).

31. Изнашивание при фреттинг-коррозии. – URL: <https://infopedia.su/9xc106.html> (дата обращения: 17.03.2023).

32. Основные классы износостойких материалов и выбор сталей для различных условий изнашивания. – URL: https://ozlib.com/947122/tehnika/osnovnye_klassy_iznosostoykih_mate

rialov_vybor_staley_razlichnyh_usloviy_iznashivaniya (дата обращения: 17.03.2023).

33. Структура восстановления деталей. – URL: <https://infopedia.su/17x33e0.html> (дата обращения: 15.03.2023).

34. Параметры и характеристики технического состояния транспортного средства. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_119416/20e3e2ef768b3db0426b77d3e8ff06bd3cc8d6b3/ (дата обращения: 18.03.2023).

35. Схема технологического процесса централизованного ремонта по техническому состоянию. – URL: <https://helpiks.org/4-97701.html> (дата обращения: 18.03.2023).

36. Очистка поверхности деталей. – URL: <https://mash-xxl.info/info/592484/> (дата обращения: 18.03.2023).

37. Очистка автомобилей и их составных частей от загрязнений. – URL: <https://kotelservice.ru/protsess-ochistki-pri-remonte-avtomobiley/> (дата обращения: 19.03.2023).

38. Эксплуатационные и технологические загрязнения. – URL: <https://refdb.ru/look/1661151-p12.html> (дата обращения: 21.03.2023).

39. Удаление нагара с деталей двигателя. – URL: <https://mydocx.ru/1-10595.html> (дата обращения: 21.03.2023).

40. Разборочные, очистные и дефектовочные процессы. – URL: https://ozlib.com/935336/tehnika/razborochnye_ochistnye_defektovochnye_protssesy (дата обращения: 23.03.2023).

41. Микроочистка автодеталей. – URL: <https://helpiks.org/6-31872.html> (дата обращения: 23.03.2023).

42. Определение технического состояния деталей ремонтного фонда и их сортировка – URL: <https://lektsia.com/8x257f.html>. (дата обращения: 23.03.2023).

43. Рекомендуемые концентрации смачивателей. – URL: <https://fireman.club/inseklodepia/smachivatel/> (дата обращения: 24.03.2023).

44. Аппараты струйной очистки. – URL: https://asobezh.ru/catalog/apparaty_struynoy_ochistki/ (дата обращения: 24.03.2023).

45. Конструкции установок мойки деталей. – URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2511/1/Леванов%20С.А._ЭТКбз_1132.pdf (дата обращения: 24.03.2023).

46. Типы электродов для наплавки по ГОСТ 10051-75. – URL: https://ppt.ru/informaciya/elektrodi_dlya_naplavki_tip_teh_nicheskie_usloviya.htm (дата обращения: 24.03.2023).

47. Сварочные материалы: хранение и подготовка к работе. – URL: https://www.spetsselectrode.ru/download/2015_Svarochnie-materiali-hranenie-i-podgotovka-k-rabote/8.htm (дата обращения: 25.03.2023).

48. Наплавка плоских и фасонных поверхностей деталей. – URL: <https://poisk-ru.ru/s15995t9.html> (дата обращения: 25.03.2023).

49. Покрытый электрод. – URL: https://studopedia.ru/15_5-7232_klassifikatsiya-razmeri-elektrodov-dlya-svarki-staley-i-naplavki.html (дата обращения: 25.03.2023).

50. Критерии выбора электродов. – URL: <https://goodel.ru/informatsiya/article/kak-vybrat-elektrody-dlya-svarki-2019> (дата обращения: 25.03.2023).

51. Как восстановить коленчатый вал автомобиля собственными силами? – URL: <https://miminonino.ru/raboty/vostanovlenie-valov-naplavkoj.html>. (дата обращения: 25.03.2023).

52. Как проверить техническое состояние и ремонт коленчатого вала. – URL: https://seite1.ru/remontiruem-sami/kak-proverit-texnicheskoe-sostoyanie-i-remont-kolenchatogovala/_html (дата обращения: 25.03.2023).

53. Балансировка коленчатого вала. – URL: https://studref.com/596299/tehnika/balansirovka_kolenchatogo_vala. (дата обращения: 25.03.2023).

54. Серов, А.И. Промышленные испытания мелющих шаров повышенной твердости при измельчении железистых кварцитов / А.И. Серов, Е.Н. Смирнов, В.А. Скляр, В.А. Белевитин // Обогащение руд. – 2017. – № 3 (369). – С. 15–20.

55. Развитие подходов к исследованию на физических моделях механизмов «залечивания» дефектов сплошности осевой зоны непрерывно-литой заготовки / Е.Н. Смирнов, В.А. Скляр, В.А. Белевитин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2016. – Т. 59. – № 5. – С. 322–327.

56. Белевитин, В.А. Ультразвуковой контроль качества кованых валов / В.А. Белевитин, Н.И. Бражников // Сталь. – 2000. – №4. – С. 47–48.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОТВЕТЫ на контрольные вопросы

По пункту 1.1:

1. Деталь, сборочная единица, комплекс, комплект.
2. Деталью называется изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций, например: валик из одной заготовки металла, литой корпус.
3. Документ, содержащий изображение детали и другие данные, необходимые для её изготовления и контроля.
4. Основной конструкторский документ изделия в отдельности или в совокупности с другими записанными в нем конструкторскими документами полностью и однозначно определяют данное изделие и его состав.

За основные конструкторские документы принимают:

- для деталей – чертеж детали;
 - для сборочных единиц, комплексов и комплектов – спецификацию.
5. Изделием называется любой предмет (деталь) или набор предметов (деталей) производства, подлежащих изготовлению на предприятии.
 6. Диагностический параметр изделия – параметр, косвенно характеризующий работоспособность объекта диагностирования. Признаки – сопутствующие неисправностям и отказам параметры технического состояния объекта диагностирования – различные физические величины, характеризующие работоспособность или исправность объекта, которые можно количественно измерить.

7. Нормативным требованиям конструкторской документации.

8. Прочность; жесткость.

9. Прочность.

По пункту 1.2:

1. Долговечность.

2. Долговечность.

3. Ремонтопригодность.

4. Сохраняемость.

5. Нарботка.

6. Повреждение.

7. Нарушение работоспособности объекта.

С. Отказ.

8. Исправное состояние.

9. Безотказность.

10. Нарушения требований безопасности, которые не могут быть устранены путем профилактики; выходом заданных параметров за установленные пределы, неустранимым путем профилактики; необходимостью проведения капитального ремонта; снижением эффективности эксплуатации ниже допустимой, которое не может быть устранено путем профилактики.

11. Соответствие показателей эксплуатационных свойств автомобиля номинальному уровню.

12. Наступления предельного состояния.

13. Геометрические.

14. Начальный, допустимый, предельный; номинальный.

15. Ресурс.
16. Средней наработкой до отказа.
17. Исправном и работоспособном;
18. Длительностью приложения нагрузки.

По пункту 1.3:

1. Ремонт.
2. Потерю работоспособности автомобиля.
3. Безотказностью; ремонтпригодностью; долговечностью; сохраняемостью.
4. Трением.
5. Усталостное.
6. Молекулярно-механическое.
7. Режущего и царапающего действия твёрдых частиц.
8. Для определения технического состояния.
9. Номинальное.
10. Допустимое.
11. Предельное.
12. Параметр.
13. Брак неисправимый, брак исправимый, годные детали.
14. Из-за многообразия причин изнашивания, условий и режимов работы узлов трения производят классификацию видов изнашивания.
15. К главным видам износа относятся следующие виды: адгезионный, абразивный, коррозионный износ и поверхностная усталость.
16. Геометрическими параметрами – макрогеометрией, волнистостью, шероховатостью и направлением следов обра-

ботки (штрихов). Н – макронеровности (овал, конус, бочкообразность и др.).

17. Для характеристики изнашивания используют следующие показатели: скорость изнашивания, интенсивность изнашивания, износостойкость, относительная износостойкость.

Скорость изнашивания – отношение значения износа к интервалу времени, в течение которого он возник.

Интенсивность изнашивания – отношение значения износа к обусловленному пути, на котором происходит изнашивание, или объему выполненной работы.

Износостойкость – свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости изнашивания или интенсивности изнашивания.

В случае сложных проявлений изнашивания целесообразно различать его ведущий и сопутствующий виды.

Интенсивность изнашивания зависит от многих факторов, основными из которых являются:

- характер и периодичность действующих нагрузок, скорость перемещения, удельное давление и температура в зоне контакта, т.е. все то, что определяет вид изнашивания;

- конструкция машин и узлов, определяющая условия нагружения, соответствие конструктивной прочности деталей приложенным нагрузкам, а также технологичность и ремонтпригодность конструкции в отношении технического обслуживания и ремонта;

- физические параметры, такие как температура, твердость поверхностей деталей и др.;

– технологические параметры, такие как точность изготовления размеров и формы детали, шероховатость и волнистость её поверхности;

– промежуточная среда – качество и способ подвода смазки, наличие в зоне контакта вторичных структур и абразива (размеры, форма и твердость абразивных частиц);

– условия технического обслуживания и ремонта: качество применяемых горюче-смазочных материалов, квалификация обслуживающего персонала, своевременность и качество выполнения технического обслуживания и ремонта;

– рабочая (окружающая) среда – температура и скорость движения среды, химический состав, обуславливающий ее агрессивность.

18. Размеры, масса, состояние поверхности, форма.

19. Специализированные авторемонтные предприятия (АРП)

20. Долговечность.

21. Под отказом понимают потерю работоспособности.

По пункту 2.1:

1. Около 40–45 %.

2. Около 70–75%.

3. Обычно около 60–70% стоимости новых аналогичных изделий. При этом достигается экономия металла и энергетических ресурсов.

4. В обеспечении у подвергнутой восстановлению детали свойств, близких к свойствам новой детали, или, с учетом инновационных возможностей технико-технологического развития, превосходящих их.

5. В экономически эффективном восстановлении надёжности машин в результате наиболее полного использования остаточной долговечности деталей их узлов и механизмов.

По пункту 2.2:

1. Заказ-наряду и приемным документам.
2. ДВС должен приводиться в рабочее состояние не более чем после трехкратного включения стартера и, прогретый до рабочей температуры, устойчиво работать на минимальной частоте вращения коленчатого вала, без «провалов» и хлопков увеличивать частоту вращения при открывании дроссельной заслонки. ДВС, имеющий комбинированную систему питания (бензин–газ) должен удовлетворять этим требованиям при запуске на любом виде топлива. При работе ДВС не должно прослушиваться посторонних шумов и стуков.
3. Техническое состояние кузова легкового автомобиля и его составных частей, выпускаемых из ремонта, должно соответствовать требованиям, установленным РД 37.009.024-92.
4. Общим техническим требованиям к автотранспортным средствам, выпускаемым из технического обслуживания и ремонта.

По пункту 2.3:

1. Технологические воздействия на восстанавливаемую деталь образуют такие блоки операций: подготовку изношенных элементов под нанесение покрытий или установку дополнительной ремонтной детали (ДРД); установку и закрепление ДРД; сварку трещин; нанесение покрытий или пере-

распределение материала путём его объёмного пластического деформирования; размерную и структурную стабилизацию элементов; термическую обработку; черновую и чистовую механическую обработку; поверхностное пластическое деформирование; отделку; уравнивание; очистку от технологических загрязнений; контроль и консервацию.

2. Бывшее в эксплуатации автотранспортное средство с выполненными объёмами ТО, требующее текущего ремонта или замены некоторых деталей, имеющее незначительные повреждения лакокрасочного покрытия. Состояние – условно-пригодное. Величина износа – 40–60 %.

3. Восстановление деталей – это технологический процесс возобновления их исправного состояния и ресурса путём возвращения им утраченной части материала из-за изнашивания и (или) доведения до нормативных значений свойств, изменившихся за время длительной эксплуатации.

4. Это свойство – надёжность.

5. Комплексным свойством, которое в зависимости от назначения изделия и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определённые сочетания этих свойств, является надёжность.

6. Основным свойством среди свойств надёжности детали является безотказность, которая определяет способность сохранять работоспособное состояние в течение установленного времени или наработки. Основные показатели безотказности: интенсивность отказов, вероятность безотказной ра-

боты, средняя наработка до отказа, ресурс непрерывной работы.

7. Остаточная долговечность – это потенциальная долговечность отказавших деталей, которая может быть использована в последующей эксплуатации после выполнения экономически обоснованного объёма восстановительных работ.

По пунктам 3.1– 3.4:

1. Применяют следующие моющие средства: Вода; органические растворители; растворяющие-эмульгирующие средства (РЭС); синтетические моющие средства (СМС); универсальные биоразлагаемые моющие средства; Расплавы щелочей и солей и др.

2. Одним из главных компонентов моющих растворов является вода.

3. Используются 2 этапа при очистке деталей в РЭС: 1-й этап – очистка деталей путём растворения загрязнений в ванне с РЭС в виде концентрата или в смеси с другими растворителями; 2-й этап – очистка деталей погружением в ванну с водой или водным раствором щелочных СМС, нагретыми до 40–50 °С, что сопровождается эмульгированием растворителя и оставшихся загрязнений с переходом их в раствор, обеспечивающего высокое качество очистки.

4. Наибольшее распространение во всех процессах мойки и очистки получили синтетические моющие средства (СМС), основу которых составляют поверхностно-активные вещества (ПАВ) и ряд щелочных солей.

5. ПАВ – это полярные органические соединения, молекулы

которых состоят из двух различных по своим свойствам частей. Одна часть молекулы является гидрофобной, а другая гидрофильной.

6. Снятие старой краски осуществляют в выварочных ваннах, используя растворы каустической соды.

7. Очищает поверхности деталей практически от всех видов загрязнений расплав щелочей и солей, который состоит из едкого натра (NaOH), азотнокислого натрия (NaNO_3) и хлористого натрия (NaCl).

8. Качественная очистка объектов ремонта может быть достигнута лишь в том случае, если физико-химический фактор воздействия на удаляемые загрязнения, зависящий от применяемых моющих реагентов, дополняется механическим фактором (напором струи высокого давления, вибрации, ультразвукового воздействия и т.д.).

9. Механический фактор определяется конструкцией моечных машин и установок.

10. Моечные машины подразделяются на:

– мониторные моечные машины предназначены для гидродинамической очистки наружных поверхностей автомобильного транспорта и его агрегатов;

– струйные моечные машины, осуществляющие очистку поверхностей деталей в камере струями моющего раствора, вытекающего из насадок под давлением;

– циркулярные моечные машины очистки различных внутренних полостей деталей;

– специальные моечные машины рекомендуют для очистки изделий от специфических трудноудаляемых загрязнений –

нагара, накипи, старых лакокрасочных покрытий, а также для очистки фильтров, метизов и др.;

– погружные моечные машины с выдержкой деталей в ванне с раствором;

– комбинированные моечные машины, характеризующиеся сочетанием в одном агрегате погружного и струйного способов очистки, что обеспечивает высокое качество очистки изделий.

11. Повышение эффективности процесса очистки деталей можно повысить с помощью:

– режимных параметров (температура, механическая энергия, объём, удельный расход и интенсивность использования моющих растворов, продолжительность процесса и его стадий);

– способа механической интенсификации процесса (струйный, пароструйный, циркуляционный, комбинированный, погружные: вибрационный, кавитационный, ультразвуковой, электрохимический, виброабразивный и т.д.);

– технологической схемы очистки – одно- или многостадийная, соответствующая видам отмываемых загрязнений и степени доступности загрязненных поверхностей (многостадийная очистка предусматривает наружную очистку, очистку агрегатов и сборочных единиц, очистку деталей после восстановления, очистку перед сборкой и окраской);

– конструкцией моечного оборудования (геометрическая и энергетическая характеристика рабочей зоны, объем, расположение и геометрия баков-отстойников, способ нагрева и схема циркуляции моющего раствора);

- предварительного модифицирования загрязнений (пропаркой, растворением или другими способами);
- состава очищающей среды (рецептура моющих средств, концентрация раствора, жесткость воды).

12. Щелочные растворы очищают поверхности деталей практически от большинства видов загрязнений.

Учебное издание

Белевитин Владимир Анатольевич

ИЗНОС И РЕМОНТ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Учебное пособие

ISBN 978-5-907611-93-1

Работа рекомендована РИС ЮУрГГПУ
Протокол № 26 от 2023 г.

Редактор Е.М. Сапегина
Компьютерная верстка В.А. Белевитин
Издательство ЮУрГГПУ
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69

Подписано в печать 29.03.2023 г.
Формат 60x841/16

Объем 3,36 уч.-изд. Л; 7,23 усл. п.л.

Тираж 100 экз. Заказ №

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии ЮУрГГПУ
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69

Фотографии на обложке:

Измерительный инструмент. – URL:

https://studopedia.ru/24_83339_klassifikatsiya-izmeritelnih-instrumentov.html;

Коленчатый вал: повреждение, симптомы, ремонт и расходы. – URL:

<https://story-fr.ru/systems/skolko-polukolec-na-dvigatеле.html>