

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Саратовский государственный аграрный университет  
имени Н. И. Вавилова»**

# **МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕХНОЛОГИЙ И СРЕДСТВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

**краткий курс лекций**

**для аспирантов 2 года обучения**

**Направление подготовки  
Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском,  
лесном и рыбном хозяйстве**

**Профиль подготовки  
Технологии и средства технического обслуживания  
в сельском хозяйстве**

**Саратов 2014**

УДК 631.3.0  
ББК 30.8  
Ш55

**Методы исследований технологий и средств технического обслуживания:** краткий курс лекций для аспирантов 2 курса направления подготовки «Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве» / Сост.: Шишурин С.А. // ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2014. – 40 с.

Краткий курс лекций по дисциплине «Методы исследований технологий и средств технического обслуживания» составлен в соответствии с рабочей программой дисциплины и предназначен для аспирантов направления подготовки «Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве». Целью освоения дисциплины является приобретение аспирантами теоретических знаний и практических навыков использования традиционных и современных методов исследований технологий и средств технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники и использование результатов в профессиональной деятельности.

УДК 631.3.0  
ББК 30.8

© Шишурин С.А. 2014  
© ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2014

## **Введение.**

Одной из основных научных и технических задач в области изучения физико-механических свойств и структуры следует считать создание на основе системного подхода методик, с помощью которых можно моделировать условия, максимально приближенные к реальным (например, одновременное воздействие высоких температур, агрессивных сред и напряжений). Такой подход позволит, в частности, проводить теоретические разработки в области разрушения композиции, создать предпосылки для создания количественной и качественной теории прочности металлов с учетом эксплуатационных факторов.

Рассматривая перспективы развития аппаратного обеспечения комплекса методик, можно ожидать реальных достижений при решении следующих проблем: широкого внедрения в практику исследований прогрессивных методов расчета, позволяющих достоверно оценивать прочность, надежность и долговечность изделий, в том числе на основе численных методов решения задач; значительного увеличения автоматизированных средств испытаний, регистрации измерений и обработки информации; применения высокопроизводительного и мощного испытательного оборудования, которое позволит максимально приблизить условия проведения испытаний к реальным эксплуатационным условиям.

## Лекция 1

### ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕХНОЛОГИЙ И СРЕДСТВ ТО И РЕМОНТА

Как известно, одним и тем же термином наука именуются знания, род деятельности и сама сфера научной деятельности. Науку как сферу деятельности принято делить на фундаментальную и прикладную. Технические науки как целое относят к сфере прикладной науки.

Объектом исследования технических наук служат создаваемые человеком технические объекты, технологии и их свойства. При этом в русскоязычной среде под технологиями (лат. *techne* – мастерство, искусство, умение) принято понимать соединение прикладного знания или технической науки с мастерством создания и применения техники, а в более узком значении – описание конкретного способа создания и (или) применения техники в документе установленной формы. В англоязычной лексике технологии часто служат обобщенным синонимом соединения технических наук и инженерии.

Технические объекты исследуются техническими науками, прежде всего в отношении общих для них фундаментальных аспектов: 1. Целей и эффективности применения. 2. Структуры или организации. 3. Функционирования. 4. Управления. 5. Эксплуатационных свойств. 6. Динамики работоспособности, износа, эксплуатационных свойств по мере выработки ресурса и старения в эксплуатации. 7. Взаимодействия с персоналом и окружающей средой.

Не случайно технические науки именуются научным обслуживанием практической деятельности. Но при этом никому не придет в голову именовать математическую статистику научным обслуживанием страхования или банковской деятельности. Помимо очевидных отличий объектов, изучаемых техническими науками, от естественно-научных объектов, существенны отличия в целях исследований технических и естественных наук. В естественных науках целью научной деятельности служит получение знания о естественно-научном объекте. В технических науках целью научной деятельности является решение или поиск решения конкретных технических или социально-экономических задач.

Таким образом, два принципиальных отличия от других отраслей науки выделяет технические науки как род деятельности: объект и цели исследований. Следствиями служат менее очевидные отличия, связанные с отграничением сферы технических наук и «внутринаучные» отличия их методологии, содержания и технологии исследований. Кроме того, помимо объектной направленности и полного подчинения запросам практики, содержание деятельности в сфере технических наук и среду, в которой организована эта деятельность, отличает от других естественных и гуманитарных наук еще и взаимодействие с инженерией. Этим термином именуют сферу деятельности, род деятельности и область знаний специалистов, направляющих, формирующих и непосредственно руководящих практической деятельностью в промышленности, строительстве и на транспорте.

Инженерия в каждой из отраслей стала массовой. Именно инженерия направляет практическую деятельность. Инженерия (инжиниринг) ищет наиболее рациональные решения в рамках уже апробированного, достаточно подтвержденного знания в пределах, допускаемых нормативными документами. Именно нормативные документы (стандарты, нормы, инструкции, СНиП, положения, технические регламенты,

методические указания, административные регламенты, реестры, правила, регистры, уставы и др.) аккумулируют знания о технических объектах. Добываются эти знания силами технических наук в результате исследований. Техническая литература (в том числе и учебники) – это лишь проводник знаний о технических объектах от сферы исследований технических наук к сфере образования.

### Вопросы для самоконтроля

1. Объект исследования технических наук.
2. Фундаментальные аспекты исследований технических наук.
3. Принципиальные отличия технических наук от других отраслей науки.
4. Понятия инженерия, нормативная документация и техническая литература.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

1. **Пучин, Е.А.** Технология ремонта машин: учебник для студентов вузов обуч. по спец. 110304 «Технология обслуживания и ремонта машин в АПК» / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.Л. Очковский [и др.]; под ред. Е.А. Пучина. – М.: КолосС, 2007. – 488 с. – ISBN 978-5-9532-0456-9.

#### *Дополнительная*

1. **Малкин, В.С.** Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: –М.: Академия, 2007.– 288 с. ISBN 978-5-7695-3191-0.
2. **Курчаткин, В.В.** Надежность и ремонт машин [Текст]: учебник для высш. учеб. заведений / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.: ил. ; 21 см. – Библиогр.: с. 772. – 5000 экз. – ISBN 5-10-003278-2.
3. **Варнаков, В.В.** Организация и технология технического сервиса машин [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов обучающихся по направлению 110300 «Агроинженерия» / В. В. Варнаков, В. В. Стрельцов, В. Н. Попов, В. Ф. Карпенков. – М.: КолосС, 2007. – 277 с.: ил. ; 21 см. – (Учебники и ученые пособия для студентов высших учебных заведений). – Библиогр.: с. 273. – 1000 экз. – ISBN 978-5-9532-0486-6.
4. **Головин, С.Ф.** Технический сервис транспортных машин и оборудования [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Ф. Головин. – М.: Альфа-М, Инфра-М, 2011. – 288 с. – 2000 экз. – ISBN 978-5-98281-141-7, 978-5-16-003291-7.
5. **Карагодин, В.И.** Ремонт автомобилей и двигателей [Текст]: учеб. пособие / В.И. Карагодин, Н.Н. Митрохин. – 8-е изд., М.: Академия, 2012. – 496 с.: ил. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-7695-9258-4.

## Лекция 2

### РОЛЬ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ В ПОВЫШЕНИИ НАДЕЖНОСТИ МАШИН

Широкое использование промышленных сплавов в высокопрочном состоянии ограничивается опасностью хрупкого разрушения. Увеличение предела текучести сплава любым известным сегодня способом сопровождается снижением трещиностойкости. Некоторые, исключения из этого правила возможны для наиболее благоприятных дислокационных механизмов упрочнения, например для размельчения зерна структурных составляющих сплава или активизации структурного упрочнения.

Применение покрытий создает условия для повышения конструктивной прочности промышленных сталей и сплавов.

Становится возможным использование комбинированного метода, при котором объем упрочняется одними дислокационными механизмами (размельчением фаз, созданием устойчивых субзеренных дислокационных построений), а рабочая поверхность – другими увеличением числа дислокаций, выделением избыточных фаз, концентрированных твердых растворов). Данный метод позволит экономить дефицитные легирующие элементы, снизить металлоемкость машин и конструкций, повысить их надежность и долговечность, особенно в эксплуатации при низких температурах.

Цели объемного упрочнения самостоятельны, они главным образом направлены на создание таких оптимальных структур сплава, которые обеспечивают благоприятное сочетание прочности, вязкости и хладостойкости.

Прочность оценивается уровнем предела текучести, вязкость – запасом трещиностойкости, хладостойкость – температурой вязко-хрупкого перехода или температурой охрупчивания сплава.

Нанесение покрытия на упрочненную основу детали или конструкции предполагает значительное увеличение твердости, стойкости, жаростойкости, антикоррозийности и т.д. Обе проблемы повышения надежности и долговечности, т.е. объемное и поверхностное упрочнение, должны решаться комплексно.

Способы объемного упрочнения развиваются на базе современной структурной теории прочности металлических сплавов, включающей основные положения физики реального строения сплавов, механики твердого деформируемого тела и термодинамики открытых систем на синергетической основе.

Центральным вопросом в поиске оптимальной структуры сплава является связь его механических свойств со структурными параметрами. Исследования корреляций между деталями структуры и отдельными показателями механических свойств различных сплавов претерпели ряд периодов, связанных с появлением новых представлений о макро-, микро- и субмикроструктуре, с одной стороны, и о статической, динамической усталостной и длительной прочности – с другой.

В последние годы особое внимание металловедов и механиков приковано к процессу разрушения металлов и сплавов в завершающем, самом опасном, периоде службы детали или конструкции, определяющем, в конечном счете, их надежность и долговечность.

Некоторые успехи достигнуты совместными усилиями исследователей в установлении критериев вязкости разрушения и в разработке ментальных методов их определения.

Только совместное, комплексное рассмотрение вопросов позволит правильно определить направление поисков новых технологий для создания оптимальных структур.

### Вопросы для самоконтроля

1. Перспективы применения покрытий в машиностроении.
2. Дислокационный механизм упрочнения металлов.
3. Цели объемного упрочнения металлов.
4. Способы объемного упрочнения металлов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

1. **Пучин, Е.А.** Технология ремонта машин: учебник для студентов вузов обуч. по спец. 110304 «Технология обслуживания и ремонта машин в АПК» / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.Л. Очковский [и др.]; под ред. Е.А. Пучина. – М.: КолосС, 2007. – 488 с. – ISBN 978-5-9532-0456-9.

#### *Дополнительная*

1. **Малкин, В.С.** Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: –М.: Академия, 2007.– 288 с. ISBN 978-5-7695-3191-0.
2. **Курчаткин, В.В.** Надежность и ремонт машин [Текст]: учебник для высш. учеб. заведений / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.: ил. ; 21 см. – Библиогр.: с. 772. – 5000 экз. – ISBN 5-10-003278-2.
3. **Варнаков, В.В.** Организация и технология технического сервиса машин [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов обучающихся по направлению 110300 «Агроинженерия» / В. В. Варнаков, В. В. Стрельцов, В. Н. Попов, В. Ф. Карпенков. – М.: КолосС, 2007. – 277 с.: ил. ; 21 см. – (Учебники и ученые пособия для студентов высших учебных заведений). – Библиогр.: с. 273. – 1000 экз. – ISBN 978-5-9532-0486-6.
4. **Головин, С.Ф.** Технический сервис транспортных машин и оборудования [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Ф. Головин. – М.: Альфа-М, Инфра-М, 2011. – 288 с. – 2000 экз. – ISBN 978-5-98281-141-7, 978-5-16-003291-7.
5. **Карагодин, В.И.** Ремонт автомобилей и двигателей [Текст]: учеб. пособие / В.И. Карагодин, Н.Н. Митрохин. – 8-е изд., М.: Академия, 2012. – 496 с.: ил. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-7695-9258-4.
- 1.

## Лекция 3

### ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ НАНЕСЕНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

В настоящее время существуют различные методы нанесения покрытий на детали машин, инструменты и конструкции. Рассмотрим некоторые из них.

*К термодиффузионным способам* можно отнести известные разновидности химико-термической обработки – цементацию, азотирование, цианирование и относительно новые – ионное азотирование и карбонитрацию. Общая черта этих процессов – насыщение поверхностных слоев деталей и инструмента различными элементами за счет диффузии из окружающей среды при повышенных температурах с образованием насыщенных твердых растворов и износостойких химических соединений диффундируемого элемента с основным компонентом сплава.

*Газотермические способы* предполагают расплавление исходной проволоки или порошка в газовой или индукционной горелке и несение жидких капель на подготовленную поверхность потоком сжатого воздуха. В качестве горючей смеси обычно используются кислород и ацетилен. К этой группе относятся давно известные методы поверхностной металлизации.

*Плазменные способы.* Их можно разделить на два вида по различию в применении плазменных явлений. Плазменно-дуговые и плазменно-струйные методы основаны на использовании тепла плазмы для нагрева, размягчения и возможного расплавления напыляемого порошка. В плазменной струе, состоящей из свободных электронов, ионов и частично нейтральных атомов аргона, азота или другого плазмообразующего газа, создается высокая температура, позволяющая расплавить порошок любого состава. Современные плазмотроны дают возможность регулировать тепловые, энергетические и газодинамические параметры процесса струйно-плазменного нанесения покрытий.

*В ионно-плазменных методах* нанесения покрытий используется также низкотемпературная плазма. Наиболее распространена КИБ-конденсация из плазменной фазы в условиях ионной бомбардировки поверхности.

*Детонационно-газовые способы* основаны на использовании энергии взрыва.

*Гальванические и химические покрытия.*

**Железнение.** Наиболее широкое применение железные покрытия получили для восстановления размеров изношенных деталей машин, автомобилей, тракторов, ДВС. Такие покрытия характеризуются сравнительно высокой твердостью и дешевизной.

Химический состав гальванического покрытия железа зависит от состава исходных материалов, применяемых при электролизе. В обычных условиях электролиза с применением растворимых анодов железо осаждается с большим количеством примесей и по химическому составу напоминает малоуглеродистую сталь.

Железнение обладает хорошими технико-экономическими показателями: исходные материалы и аноды являются дешевыми и недефицитными; высокий выход металла по току (85...95%); высокая производительность – скорость осаждения железа составляет 0,2...0,5 мм/ч; толщина твердого покрытия может достигать 2 мм; возможность в широких пределах регулировать свойства покрытий в зависимости от их назначения обуславливает универсальность процесса; достаточно высокая износостойкость твердых покрытий, приближающаяся к износостойкости закаленной стали.

Тем не менее, процесс железнения имеет существенные недостатки: сцепление металла детали с нанесенным металлом значительно хуже, чем при хромировании;

низкая твердость нанесенного слоя, следовательно, детали машин, восстановленные таким способом, имеют низкую износостойкость.

**Хромирование.** Покрытия хрома отличаются мелкозернистостью. Микротвердость хромовых покрытий в зависимости от условий электролиза колеблется от 4000 МПа до 12000 МПа. Покрытия обладают низким коэффициентом трения и высокой сцепляемостью. Хром химически стоек против воздействия многих кислот и щелочей: он нерастворим в растворах азотной, серной и органических кислот, в щелочах и в растворах многих солей и органических веществ. В атмосферных условиях на поверхности хрома образуется прозрачная пассивная пленка, предохраняющая его от коррозии и длительное время сохраняющая его блеск. Осажденный на полированную поверхность хром имеет зеркальный блеск и серебристый с синеватым оттенком цвет. Хромовые покрытия жароустойчивы. Отражательная способность хромовых покрытий выше никелевых, но ниже серебряных.

Высокие твердость, жаростойкость, химическая стойкость и низкий коэффициент трения хрома обеспечивают хромированным деталям высокую износостойкость даже в тяжелых условиях эксплуатации, превышающую в 2...5 раз износостойкость закаленной стали.

К недостаткам хромовых покрытий относятся повышенные хрупкость, напряженность и пористость, снижающие на 30...40% их защитные свойства и предел выносливости хромированных деталей.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Термодиффузионные способы нанесения покрытий.
2. Газотермические способы нанесения покрытий
3. Плазменные способы нанесения покрытий.
4. Гальванические и химические способы нанесения покрытий.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

#### *Основная*

1. **Пучин, Е.А.** Технология ремонта машин: учебник для студентов вузов обуч. по спец. 110304 «Технология обслуживания и ремонта машин в АПК» / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.Л. Очковский [и др.]; под ред. Е.А. Пучина. – М.: КолосС, 2007. – 488 с. – ISBN 978-5-9532-0456-9.

#### *Дополнительная*

1. **Малкин, В.С.** Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: –М.: Академия, 2007.– 288 с. ISBN 978-5-7695-3191-0.
2. **Курчаткин, В.В.** Надежность и ремонт машин [Текст]: учебник для высш. учеб. заведений / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.: ил. ; 21 см. – Библиогр.: с. 772. – 5000 экз. – ISBN 5-10-003278-2.
3. **Варнаков, В.В.** Организация и технология технического сервиса машин [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов обучающихся по направлению 110300 «Агроинженерия» / В. В. Варнаков, В. В. Стрельцов, В. Н. Попов, В. Ф. Карпенков. – М.: КолосС, 2007. – 277 с.: ил. ; 21 см. – (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений). – Библиогр.: с. 273. – 1000 экз. – ISBN 978-5-9532-0486-6.

## Лекция 4

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ

Методы испытаний материалов с покрытиями разработаны значительно меньше, чем способы оценки свойств собственно покрытий. В предлагаемой классификации методик исследования структуры и физико-механических свойств выделено два крупных раздела: испытание покрытий и испытание материалов с покрытиями.

В классификацию включены не только наиболее часто применяемые в исследованиях методики определения структуры и свойств, но и некоторые способы оценки различных характеристик, которые пока еще незаслуженно редко обсуждались в литературе и мало использовались в практике. К ним, в частности, можно отнести многие методики из раздела испытания материалов с покрытиями.

В зависимости от назначения методики можно разделить на десять групп. Выделены два раздела – по четыре группы в каждом, а две группы – структурные исследования и определение прочности соединения покрытия с основным металлом – относятся временно к обоим разделам.

Каждая из приведенных в классификации методик имеет определенную методологическую направленность, достоинства, погрешности, диапазон действия, и с ее помощью можно получить некоторую информацию о конструктивной прочности изделия с покрытием.

Однако, пожалуй, ни одна из отдельно взятых методик не позволяет достаточно полно изучить воздействие внешних условий во всем многообразии и взаимосвязи, какое наблюдается при эксплуатации. Выбранные для исследования методики должны дополнять друг друга и позволять максимально моделировать условия работы детали с покрытием. Только их совместное и параллельное использование будет способствовать корректному решению теоретических и экспериментальных задач.

Предложенная классификация, разумеется, не претендует на полную универсальность и не лишена недостатков. Она не исключает развития других принципиальных подходов, которые могут быть положены в основу при систематизации методик испытаний покрытий и материалов с покрытиями. Возможно, будут предложены иные классификации, базирующиеся на каком-либо другом принципе.

Вместе с тем отсутствие в настоящее время классификации методов оценки структуры и свойств покрытий и материалов с покрытиями сдерживает не только научные исследования, но и замедляет развитие и распространение прогрессивных методов нанесения покрытий в промышленности.

Предлагаемая классификация позволяет: систематизировать испытательное оборудование, сделать правильный выбор метода испытаний для конкретных задач, разрабатывать и внедрять новые методики в исследовательскую практику и производство. Краткое рассмотрение основных групп методик оценки структуры и свойств покрытий и материалов с покрытиями и нерешенных в этой области вопросов дает возможность сформулировать ряд актуальных проблем теоретического, исследовательского и организационного характера.

Одной из основных научных и технических задач в области изучения физико-механических свойств и структуры следует считать создание на основе системного подхода методик, с помощью которых можно моделировать условия, максимально

приближенные к реальным (например, одновременное воздействие высоких температур, агрессивных сред и напряжений). Такой подход позволит, в частности, проводить теоретические разработки в области разрушения композиции «основной металл – покрытие», создать предпосылки для создания количественной и качественной теории прочности металлов с покрытиями с учетом эксплуатационных факторов.

### Вопросы для самоконтроля

1. Методы исследования структуры покрытий.
2. Методы исследования физико-механических свойств покрытий.
3. Моделирование условий исследований.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

1. **Пучин, Е.А.** Технология ремонта машин: учебник для студентов вузов обуч. по спец. 110304 «Технология обслуживания и ремонта машин в АПК» / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.Л. Очковский [и др.]; под ред. Е.А. Пучина. – М.: КолосС, 2007. – 488 с. – ISBN 978-5-9532-0456-9.

#### *Дополнительная*

1. **Малкин, В.С.** Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: –М.: Академия, 2007.– 288 с. ISBN 978-5-7695-3191-0.
2. **Курчаткин, В.В.** Надежность и ремонт машин [Текст]: учебник для высш. учеб. заведений / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.: ил. ; 21 см. – Библиогр.: с. 772. – 5000 экз. – ISBN 5-10-003278-2.
3. **Варнаков, В.В.** Организация и технология технического сервиса машин [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов обучающихся по направлению 110300 «Агроинженерия» / В. В. Варнаков, В. В. Стрельцов, В. Н. Попов, В. Ф. Карпенков. – М.: КолосС, 2007. – 277 с.: ил. ; 21 см. – (Учебники и ученые пособия для студентов высших учебных заведений). – Библиогр.: с. 273. – 1000 экз. – ISBN 978-5-9532-0486-6.
4. **Головин, С.Ф.** Технический сервис транспортных машин и оборудования [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Ф. Головин. – М.: Альфа-М, Инфра-М, 2011. – 288 с. – 2000 экз. – ISBN 978-5-98281-141-7, 978-5-16-003291-7.
5. **Карагодин, В.И.** Ремонт автомобилей и двигателей [Текст]: учеб. пособие / В.И. Карагодин, Н.Н. Митрохин. – 8-е изд., М.: Академия, 2012. – 496 с.: ил. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-7695-9258-4.

## Лекция 5

### МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ С ПОКРЫТИЯМИ. СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ.

По современным представлениям о разрушении металла предполагается, что покрытие, препятствуя выходу дислокаций на поверхность, может в одних случаях упрочнять основу, а в других – разупрочнять. Эффект влияния покрытий на основной материал будет зависеть от условий, определяющих динамику дислокаций на поверхности раздела. Результат же взаимодействия дислокаций с границей раздела «основа – покрытие» связан с двумя типами источников дислокаций – объемными и поверхностными.

Формирование покрытий приводит к залечиванию поверхностных микротрещин; покрытие, служа барьером на пути движущихся дислокаций, зарождающихся в основе, повышает предел текучести; сжимающие остаточные напряжения, возникающие в приповерхностных слоях основы и покрытия при его нанесении, вызывают увеличение усталостной прочности детали. Ухудшение механических свойств металлов с покрытиями может происходить: в результате образования на границе «покрытие – основа» интерметаллических или химических соединений повышенной хрупкости; в случае возникновения в поверхностных слоях растягивающих напряжений.

При определенных сочетаниях уровня прикладываемой при испытаниях нагрузки и температуры возможны два основных типа разрушения покрытия – образование трещин по межфазной границе (отслаивание покрытия) и растрескивание (разрушение). В связи с этим влияние покрытия на механические характеристики необходимо рассматривать комплексно, оценивая физико-механические свойства покрытия и основы в конкретных условиях деформации, т. е. учитывая скорость деформирования, уровень напряжений, температуру испытания и т. д.

При определении комплекса свойств материалов с покрытиями используется большое многообразие методов испытаний, из которых наибольшее распространение получили такие, как растяжение, изгиб, определение твердости.

Испытания на растяжение являются наиболее простым методом определения прочностных и пластических характеристик, так как этим способом в области равномерной деформации проще всего достигается одноосное напряженное состояние. Одноосность напряженного состояния сохраняется только до образования шейки, когда материал находится под действием нормальных и касательных напряжений. При растяжении величина максимальных касательных напряжений составляет половину от максимальных нормальных растягивающих. Такое испытание называется «жестким», а напряженное состояние характеризуется коэффициентом жесткости.

Твердость оценивается сопротивлением, которое одно тело оказывает проникновению в него другого, более твердого тела. Эта характеристика отражает в себе целый комплекс механических свойств.

Испытания на твердость материалов с покрытиями могут проводиться для контроля качества нанесенного слоя, выявления изменений в поверхностных участках основного металла, для оценки структурной неоднородности по сечению покрытия, с целью исследования закономерностей изнашивания покрытий, определения прочности соединения покрытия с основным металлом и т. д. Данные о твердости широко используются благодаря ряду достоинств этого метода: возможность 100%-ного

контроля деталей после нанесения покрытий; испытания не являются разрушающими, замеры можно производить непосредственно на детали; серийные приборы не сложны по устройству, производительны и удобны в эксплуатации.

Имеются стандарты, регламентирующие измерение твердости. Стандарт определяет параметры и пределы допустимой погрешности стационарных твердомеров, выпускаемых отечественной промышленностью.

Метод замеров твердости по Роквеллу из-за простоты и оперативности считается одним из самых распространенных. Сущность его состоит в том, что в испытуемую поверхность вдавливаются алмазный конус или стальной шарик.

Твердость по Бринеллю определяют главным образом у заведомо мягкого основного металла: стали после отжига, нормализации, бронз, латуней и т. д. Суть метода заключается в том, что в поверхность образца вдавливается стальной закаленный шарик диаметром 10,5 или 2,5 мм. Регламентируется время выдержки под нагрузкой и величина нагрузки, причем последняя подбирается таким образом, чтобы ее отношение к квадрату диаметра шарика было постоянным. Значение твердости определяется по диаметру отпечатка, оставшегося на поверхности образца после снятия нагрузки.

Методом микротвердости находят твердость микрообъемов покрытия. Основное назначение метода – исследование твердости отдельных частиц, структурных составляющих, а также анизотропии твердости в различных участках покрытия.

Различают два метода испытаний: по восстановленному отпечатку (основной метод) и по невосстановленному отпечатку (дополнительный метод). Результат испытания по первому методу характеризует сопротивление материала пластической и упругой деформации при вдавливании алмазного наконечника статической нагрузкой в течение определенного времени. После снятия нагрузки и удаления наконечника измеряют параметры оставшегося отпечатка, по которым, пользуясь формулами и таблицами, определяют величину микротвердости. Рекомендуется использовать наконечники четырех форм: четырехгранной пирамиды с квадратным основанием, трехгранной пирамиды с основанием в виде равностороннего треугольника, четырехгранной пирамиды с ромбическим основанием, бицилиндрический наконечник. Наибольшее распространение получили испытания с применением наконечника в форме четырехгранной пирамиды с квадратным основанием.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Влияние покрытий на физико-механические свойства металла.
2. Типы разрушения покрытий.
3. Испытания покрытий на растяжение.
4. Метод измерения твердости по Роквеллу.
5. Метод измерения твердости по Бринеллю.
6. Метод измерения микротвердости покрытий.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

#### *Основная*

1. **Пучин, Е.А.** Технология ремонта машин: учебник для студентов вузов обуч. по спец. 110304 «Технология обслуживания и ремонта машин в АПК» / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.Л. Очковский [и др.]; под ред. Е.А. Пучина. – М.: КолосС, 2007. – 488 с. – ISBN 978-5-9532-0456-9.

*Дополнительная*

1. **Малкин, В.С.** Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: –М.: Академия, 2007.– 288 с. ISBN 978-5-7695-3191-0.
2. **Курчаткин, В.В.** Надежность и ремонт машин [Текст]: учебник для высш. учеб. заведений / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.: ил. ; 21 см. – Библиогр.: с. 772. – 5000 экз. – ISBN 5-10-003278-2.
3. **Варнаков, В.В.** Организация и технология технического сервиса машин [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов обучающихся по направлению 110300 «Агроинженерия» / В. В. Варнаков, В. В. Стрельцов, В. Н. Попов, В. Ф. Карпенков. – М.: КолосС, 2007. – 277 с.: ил. ; 21 см. – (Учебники и ученые пособия для студентов высших учебных заведений). – Библиогр.: с. 273. – 1000 экз. – ISBN 978-5-9532-0486-6.
4. **Головин, С.Ф.** Технический сервис транспортных машин и оборудования [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Ф. Головин. – М.: Альфа-М, Инфра-М, 2011. – 288 с. – 2000 экз. – ISBN 978-5-98281-141-7, 978-5-16-003291-7.
5. **Карагодин, В.И.** Ремонт автомобилей и двигателей [Текст]: учеб. пособие / В.И. Карагодин, Н.Н. Митрохин. – 8-е изд., М.: Академия, 2012. – 496 с.: ил. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-7695-9258-4.

## Лекция 6

### **МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ С ПОКРЫТИЯМИ. ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ. ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПЛАСТИЧНОСТИ.**

Под термином «усталость» понимают процесс постепенного накопления повреждений материала под действием переменных напряжений, приводящий к изменению свойств, образованию и развитию трещин и разрушению.

Усталость остается одной из важнейших проблем машиностроения, так как более 80% разрушений деталей и конструкций носят усталостный характер.

Усталостному разрушению подвергаются валы, оси, шатуны, болты, сварные соединения и другие детали, работающие при длительном действии знакопеременных нагрузок.

Выполненные разработки привели к значительным достижениям в области прогнозирования надежности и долговечности изделий, эксплуатируемых при циклическом нагружении. Однако многие вопросы остаются нерешенными. Во-первых, не выявлена до конца физическая природа усталости материалов, во-вторых, не известно точное распределение нагрузки в узлах конструкций, в-третьих, отсутствуют достаточно точные способы расчета действительных коэффициентов концентрации напряжений, в-четвертых, не ясно влияние масштабного и других факторов, снижающих циклическую прочность материала.

Контрольные и исследовательские испытания, связанные с оценкой характеристик сопротивления усталости, регламентированы системой нормативных документов. В последнее время разработаны и внедрены ГОСТы, всесторонне определяющие усталостные испытания.

По результатам усталостных испытаний образцов с покрытиями можно: отрабатывать технологию нанесения покрытий; выбирать оптимальное сочетание химического состава, структуры и свойств материалов покрытия и основного металла; рассчитывать и проектировать конструкции; проводить промежуточный и выходной контроль качества композиции «покрытие – основной металл»; осуществлять контроль ответственных деталей с покрытиями перед эксплуатацией.

По-видимому, ни один из видов нарушения сплошности композиции «основной металл – покрытие» не зависит от столь большого числа переменных факторов, как усталостное разрушение.

Повышение износостойкости, улучшение защитных свойств и многих эксплуатационных характеристик покрытия обычно сопровождаются снижением усталостной прочности.

По-видимому, остаточные внутренние напряжения, возникающие при формировании покрытия, играют двоякую роль при возникновении и распространении усталостных трещин. Если в покрытии и поверхностных слоях основного металла имеются сжимающие остаточные напряжения, то они увеличивают долговечность, задерживая зарождение и распространение усталостных трещин. При образовании напряжений растяжения (что происходит чаще), неблагоприятных с точки зрения конструктивной прочности, разрушение образца ускоряется вследствие усиления напряженности состояния и инициирования трещинообразования.

Поскольку повышение предела текучести, характеризующего сопротивление

большой (макропластической) деформации, не всегда сопровождается ростом предела упругости, исследование закономерностей проявления микропластической деформации в зависимости от различных факторов, формирующих структуру материала, представляет большой практический интерес.

Именно на ранних стадиях деформирования, задолго до наступления текучести, проявляются индивидуальные свойства дислокаций и их построений. Следовательно, структурные и субструктурные характеристики материала с покрытием могут быть оценены в результате исследований микропластичности.

Изучение этих особенностей дает дополнительные данные о свойствах и структуре композиции «основной металл – покрытие», так как проявление малых пластических деформаций может остаться незамеченным при обычных механических испытаниях с определением макросвойств.

При действии статической нагрузки дислокации, возникающие в межфазной зоне, должны перемещаться на поверхность, однако граница «покрытие – основной металл» блокирует их. При этом покрытие может либо деформироваться, либо разрушаться. Микропластическая деформация определяет развитие субмикрорелаксационных процессов у вершины распространяющейся трещины.

Большие значения микропластической деформации при одинаковом значении приложенного напряжения к образцам с покрытиями свидетельствуют об увеличении подвижности дислокаций после несения покрытий. Благодаря облегчению передвижения дислокаций уменьшается вероятность опасных локальных напряжений, часто приводящих к образованию трещины.

### Вопросы для самоконтроля

1. Понятие усталостная прочность материала.
2. Усталостная прочность металлов с покрытием.
3. Испытания на усталостную прочность.
4. Исследование микропластичности материалов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

1. **Пучин, Е.А.** Технология ремонта машин: учебник для студентов вузов обуч. по спец. 110304 «Технология обслуживания и ремонта машин в АПК» / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.Л. Очковский [и др.]; под ред. Е.А. Пучина. – М.: КолосС, 2007. – 488 с. – ISBN 978-5-9532-0456-9.

#### *Дополнительная*

1. **Малкин, В.С.** Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: –М.: Академия, 2007.– 288 с. ISBN 978-5-7695-3191-0.
2. **Курчаткин, В.В.** Надежность и ремонт машин [Текст]: учебник для высш. учеб. заведений / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.: ил. ; 21 см. – Библиогр.: с. 772. – 5000 экз. – ISBN 5-10-003278-2.
3. **Варнаков, В.В.** Организация и технология технического сервиса машин [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов обучающихся по направлению 110300 «Агроинженерия» / В. В. Варнаков, В. В. Стрельцов, В. Н. Попов, В. Ф. Карпенков. – М.: КолосС, 2007. –

277 с.: ил. ; 21 см. – (Учебники и ученые пособия для студентов высших учебных заведений). – Библиогр.: с. 273. – 1000 экз. – ISBN 978-5-9532-0486-6.

4. **Головин, С.Ф.** Технический сервис транспортных машин и оборудования [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Ф. Головин. – М.: Альфа-М, Инфра-М, 2011. – 288 с. – 2000 экз. – ISBN 978-5-98281-141-7, 978-5-16-003291-7.
5. **Карагодин, В.И.** Ремонт автомобилей и двигателей [Текст]: учеб. пособие / В.И. Карагодин, Н.Н. Митрохин. – 8-е изд., М.: Академия, 2012. – 496 с.: ил. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-7695-9258-4.

## Лекция 7

### **МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ С ПОКРЫТИЯМИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ.**

Контактная усталость – процесс накопления повреждений и развитие разрушения поверхностных слоев материала под действием переменных контактных нагрузок, вызывающих образование ямок выкрашивания (питтингов) или трещины и снижение долговечности изделия.

Усталостное выкрашивание наблюдается при пониженной контактной прочности материалов или высоких контактных напряжениях на рабочих поверхностях зубчатых колес, подшипников качения, бандажей, крановых колес, рельсов и т. д.

Несмотря на то что по схеме нагружения контактные испытания отличаются от усталостных, например при изгибе или растяжении – сжатии, кинетика процесса (постепенное накапливание повреждений – образование трещин – рост трещин – разрушение), оценочные характеристики (предел выносливости, коэффициент вариации пределов выносливости и др.), роль концентраторов напряжений у них аналогичны.

В зоне контактирования образца и контртела возникают нормальные и касательные напряжения. В отличие от нормальных напряжений, монотонно снижающихся по мере удаления вглубь от поверхности, распределение касательных напряжений является более сложным. Кривая зависимости касательных напряжений от расстояния до поверхности имеет максимум. Усталостные трещины, возникшие при контактном нагружении, распространяются в направлении, совпадающем с действием касательных напряжений.

Следует отметить, что наряду с указанными напряжениями в зоне контактирования возникают силы трения, которые, действуя одновременно с касательными напряжениями, усиливают последние, приводя к образованию питтингов. Склонность к образованию питтингов определяется многими факторами. Прежде всего необходимо стремиться к понижению контактных нагрузок и увеличению прочности приповерхностных объемов. Повышение скорости качения и скорости течения смазывающей жидкости, исключение проскальзывания, уменьшение температуры в зоне контактирования приводят к увеличению усталостной прочности поверхности трения.

При нанесении покрытий на поверхность деталей с целью увеличения контактно-усталостной долговечности следует учитывать два обстоятельства. Во-первых, толщина покрытия должна исключать совпадение зоны распространения максимальных касательных напряжений с границей раздела «покрытие – основа». Во-вторых, основной металл должен быть достаточно упрочнен, чтобы предотвратить деформацию и продавливание покрытия, приводящих к отслаиванию покрытия даже в случае достаточно высокой прочности соединения с основным металлом.

Существенное влияние на особенности разрушения материалов с покрытиями и на характеристики контактной усталости оказывают условия деформирования, толщина покрытий и другие факторы.

Предел прочности покрытий всегда значительно ниже предела прочности аналогичного монолитного материала. Это объясняется тем, что прочностные свойства

обусловлены не прочностью отдельных частиц, составляющих покрытие, а теми силами соединения между частицами, которые возникают в процессе формирования покрытия.

При механических испытаниях отмечается большой разброс результатов. Это связано, например, с трудностью изготовления применяемых микрообразцов, с неоднородностью их строения, наличием микротрещин, с локальной пористостью покрытий. Поэтому испытания обычно проводят на большом количестве образцов.

Серийно выпускаемые машины, предназначенные для макрообразцов, обычно не используются для микромеханических испытаний из-за трудности крепления микрообразцов, высоких погрешностей измерения, отсутствия специальной регистрирующей аппаратуры и т. д.

Микромашин для исследования механических свойств должны обеспечивать регистрацию небольших усилий и деформаций, надежную установку и точную центровку образцов в захватах, малую скорость нагружения.

### Вопросы для самоконтроля

1. Понятие контактная усталость материала.
2. Испытания на контактную усталость материала.
3. Влияние покрытий на контактно-усталостную долговечность.
4. Механические испытания материалов и покрытий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

1. **Пучин, Е.А.** Технология ремонта машин: учебник для студентов вузов обуч. по спец. 110304 «Технология обслуживания и ремонта машин в АПК» / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.Л. Очковский [и др.]; под ред. Е.А. Пучина. – М.: КолосС, 2007. – 488 с. – ISBN 978-5-9532-0456-9.

#### *Дополнительная*

1. **Малкин, В.С.** Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: –М.: Академия, 2007.– 288 с. ISBN 978-5-7695-3191-0.
2. **Курчаткин, В.В.** Надежность и ремонт машин [Текст]: учебник для высш. учеб. заведений / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.: ил. ; 21 см. – Библиогр.: с. 772. – 5000 экз. – ISBN 5-10-003278-2.
3. **Варнаков, В.В.** Организация и технология технического сервиса машин [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов обучающихся по направлению 110300 «Агроинженерия» / В. В. Варнаков, В. В. Стрельцов, В. Н. Попов, В. Ф. Карпенков. – М.: КолосС, 2007. – 277 с.: ил. ; 21 см. – (Учебники и ученые пособия для студентов высших учебных заведений). – Библиогр.: с. 273. – 1000 экз. – ISBN 978-5-9532-0486-6.
4. **Головин, С.Ф.** Технический сервис транспортных машин и оборудования [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Ф. Головин. – М.: Альфа-М, Инфра-М, 2011. – 288 с. – 2000 экз. – ISBN 978-5-98281-141-7, 978-5-16-003291-7.
5. **Карагодин, В.И.** Ремонт автомобилей и двигателей [Текст]: учеб. пособие / В.И. Карагодин, Н.Н. Митрохин. – 8-е изд., М.: Академия, 2012. – 496 с.: ил. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-7695-9258-4.

## Лекция 8

### **ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ ПОКРЫТИЯ С ОСНОВНЫМ МЕТАЛЛОМ. МЕТОД ВЫТЯГИВАНИЯ ШТИФТА. МЕТОД СДВИГА (СРЕЗА).**

В настоящее время нет единого термина, обозначающего силу связи между основным металлом и покрытием, отнесенную к единице их общей поверхности. Наиболее часто используются следующие понятия: адгезия, адгезионная прочность, прочность сцепления покрытия с основой, адгезионная прочность соединения с основой и др.

Такая неопределенность в терминологии для одной из важнейших характеристик покрытия, разумеется, вносит путаницу как в специальной литературе, так и в технологической документации при исследовании свойств покрытий в производственных условиях.

Адгезия (прилипание, слипание, схватывание) и производные от этого слова не всегда корректно характеризуют те многообразные причины, которые приводят к соединению основного металла с покрытием. На наш взгляд, более правильным термином, описывающим удельную силу этой связи, является «прочность соединения покрытия с основным металлом», или «прочность соединения покрытия с основой».

При выборе материала покрытия и метода его нанесения обычно оценивается уровень прочности соединения. Эта характеристика считается одним из основных критериев, которые определяют как область применения, так и эксплуатационные характеристики покрытия, особенно в том случае, если изделие с покрытием выполняет роль несущей конструкции. Разумеется, при нанесении, например, защитных (антикоррозионных) покрытий внимание прежде всего должно уделяться специальным свойствам. Несмотря на то что прочность соединения является «в большинстве случаев основной характеристикой... паспортом, удостоверяющим работоспособность покрытия», разработка теоретических методов расчета прочности соединения только начинается.

Применение вероятностно-статистических методов анализа и прогнозирование прочности соединения покрытия для газотермических, детонационных покрытий будет, по-видимому, затруднено вследствие более сложного строения последних по сравнению с электролитическими.

Ранее считалось, что соединение покрытия с основным металлом при большинстве способов напыления происходит за счет механических связей, что предварительная подготовка поверхности, в частности пескоструйная обработка, приводящая к повышению шероховатости, способствует усилению механических связей за счет заклинивания деформированных напыленных частиц в рельефе основного металла. В настоящее время полагают, что наряду с механическим взаимодействием прочность соединения определяется установленными при напылении химическими связями и силами Ван-дер-Ваальса. Последние, однако, играют весьма малую роль в повышении прочности соединения. Высокая прочность соединения наблюдается при нанесении тугоплавких покрытий на металлы с более низкой температурой плавления. При этом происходит перемешивание двух различных по химическому составу и свойствам материалов, и достигается высокая прочность соединения покрытия с основным металлом. Предварительная пескоструйная обработка необходима не только для создания на поверхности металла нужного рельефа, но и для увеличения контактной площади и дополнительной активации поверхности. Выявление причин, определяющих

уровень прочности соединения, будет, вероятно, основываться на систематических и глубоких исследованиях границы «покрытие – основной металл» с привлечением современных методов изучения структуры.

Прочность соединения покрытия с основным металлом зависит не только от характера связей между металлом и покрытием. Большое значение оказывает также уровень внутренних напряжений.

Наряду с остаточными напряжениями отрицательное влияние на прочность соединения могут оказывать также следующие факторы: образование прочных связей между материалами покрытия и основного металла происходит только на отдельных участках контактирования; прочность соединения в зоне сваривания ниже прочности компактного материала из-за макро- и микроскопической дефектности образовавшегося соединения, а также за счет небольшого взаимного проникновения основного металла и покрытия.

В настоящее время для определения прочности соединения покрытия с основным металлом создано специальное оборудование, разработаны оригинальные методики, позволяющие качественно и количественно оценивать эту важную характеристику в различных условиях.

Одним из основных способов определения прочности соединения покрытия с основным металлом является штифтовый метод. Образцом служит шайба, в отверстие которой устанавливается цилиндрический штифт таким образом, что его торцевая поверхность находится заподлицо с плоскостью основания шайбы. На общую поверхность торца штифта и шайбы после соответствующей подготовки наносится покрытие. Испытания проводят путем вытягивания штифта из шайбы с записью усилия. После отрыва штифта от покрытия определяют отношение максимальной нагрузки к площади торца штифта.

В отличие от штифтового метода отделение покрытия от основного металла в случае метода сдвига происходит за счет напряжений сдвига (среза). Существуют две разновидности данного метода. При испытании цилиндрических образцов покрытие наносится на центральную часть боковой поверхности. Пуансон из основного металла и матрица изготовлены таким образом, что могут перемещаться относительно друг друга с минимальной силой трения. При нагружении покрытие отделяется по всей боковой поверхности основного металла. В случае плоских образцов покрытие наносится на отдельные участки при помощи маски. Нож под действием усилия срезает участок покрытия по всей площади его контактирования с основным металлом за один проход. В обоих вариантах критерием прочности соединения является отношение максимального усилия либо к площади цилиндрической поверхности, на которую нанесено покрытие, либо к площади контактирования материала покрытия и основного металла на плоском участке.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Понятия адгезии и прочности сцепления покрытий.
2. Выбор метода определения прочности сцепления покрытия с основой.
3. Определение прочности сцепления покрытия с основой методом вытягивания штифта.
4. Определения прочности сцепления покрытия с основой методом сдвига.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

### *Основная*

1. **Пучин, Е.А.** Технология ремонта машин: учебник для студентов вузов обуч. по спец. 110304 «Технология обслуживания и ремонта машин в АПК» / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.Л. Очковский [и др.]; под ред. Е.А. Пучина. – М.: КолосС, 2007. – 488 с. – ISBN 978-5-9532-0456-9.

### *Дополнительная*

1. **Малкин, В.С.** Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: –М.: Академия, 2007.– 288 с. ISBN 978-5-7695-3191-0.
2. **Курчаткин, В.В.** Надежность и ремонт машин [Текст]: учебник для высш. учеб. заведений / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.: ил. ; 21 см. – Библиогр.: с. 772. – 5000 экз. – ISBN 5-10-003278-2.
3. **Варнаков, В.В.** Организация и технология технического сервиса машин [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов обучающихся по направлению 110300 «Агроинженерия» / В. В. Варнаков, В. В. Стрельцов, В. Н. Попов, В. Ф. Карпенков. – М.: КолосС, 2007. – 277 с.: ил. ; 21 см. – (Учебники и ученые пособия для студентов высших учебных заведений). – Библиогр.: с. 273. – 1000 экз. – ISBN 978-5-9532-0486-6.
4. **Головин, С.Ф.** Технический сервис транспортных машин и оборудования [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Ф. Головин. – М.: Альфа-М, Инфра-М, 2011. – 288 с. – 2000 экз. – ISBN 978-5-98281-141-7, 978-5-16-003291-7.
5. **Карагодин, В.И.** Ремонт автомобилей и двигателей [Текст]: учеб. пособие / В.И. Карагодин, Н.Н. Митрохин. – 8-е изд., М.: Академия, 2012. – 496 с.: ил. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-7695-9258-4.

## Лекция 9

### **ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ ПОКРЫТИЯ С ОСНОВНЫМ МЕТАЛЛОМ. МЕТОД СКЛЕИВАНИЯ. СКЛЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД.**

Рассмотрим некоторые особенности испытаний методом склеивания. На величину разрушающего усилия, также как и при штифтовом методе, оказывает влияние масштабный фактор. Доказано, что при нанесении плазменного покрытия в одинаковых условиях на образцы различных диаметров значения прочности соединения отличаются весьма резко. Уменьшение диаметра образца от 50 до 25 мм сопровождается падением величины разрушающего напряжения почти в два раза. Это, вероятно, связано со сложностью механизма отделения покрытия. Отрыв покрытия обычно не наблюдается одновременно по всей площади контактирования, даже если происходит по границе «покрытие – основной металл». Прежде всего отрыв идет от края образца, а затем распространяется к центру. Поэтому прочность соединения для данного покрытия, определенная на образце большего диаметра, будет выше, чем на тонком (краевой эффект). С увеличением диаметра образца роль краевого эффекта уменьшается.

При клеевом методе необходимо подбирать оптимальный диаметр образца (для уменьшения краевого эффекта), а также регулировать глубину пропитки клеем.

В зависимости от конструкции захватов разрывной машины образцы могут иметь для крепления либо резьбу, либо специально выточенные головки. Обычно влияние касательных и изгибающих напряжений может проявляться при несоосном склеивании образцов, неравномерности толщины покрытия или при неправильном приложении нагрузки. Диаметр образцов 10-40 мм.

Известна следующая схема испытаний. Цилиндрический образец приклеивается к поверхности изделия с покрытием. После отверждения клея вокруг торца образца в покрытии делается проточка до основного металла. В производственных условиях при необходимости проведения неразрушающих испытаний образец нагружается заранее заданным усилием. Если покрытие не разрушается, то можно считать напыление удовлетворительным. Отделение образцов от покрытия после испытаний в этом случае производится при помощи электронагревателя.

Клеевой метод имеет ряд недостатков. Прочность соединения покрытия с основным металлом, определенная клеевым методом, зависит не только от способа нанесения покрытия, но и от размеров образца. Большому образцу соответствуют большие значения прочности. Стандартные экспериментальные образцы не разработаны.

Известны два варианта склерометрического метода оценки прочности соединения покрытия с основным металлом. При нанесении одной канавки о прочности соединения можно судить по величине усилия царапания, при котором разрушается покрытие. Если вырезается ряд параллельных канавок, то критерием служит расстояние между ними, при котором покрытие начинает отслаиваться.

Недостатками обоих вариантов является пониженная точность измерения, так как нанесение царапины механическим путем связано с затуплением режущего инструмента и колебаниями глубины разрушения покрытия.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Особенности оценки прочности сцепления методом склеивания.
2. Схемы испытаний образцов на прочность сцепления методом склеивания.
3. Недостатки клеевого метода оценки прочности сцепления.
4. Склерометрический метод оценки прочности сцепления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### *Основная*

1. **Пучин, Е.А.** Технология ремонта машин: учебник для студентов вузов обуч. по спец. 110304 «Технология обслуживания и ремонта машин в АПК» / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.Л. Очковский [и др.]; под ред. Е.А. Пучина. – М.: КолосС, 2007. – 488 с. – ISBN 978-5-9532-0456-9.

### *Дополнительная*

1. **Малкин, В.С.** Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: –М.: Академия, 2007.– 288 с. ISBN 978-5-7695-3191-0.
2. **Курчаткин, В.В.** Надежность и ремонт машин [Текст]: учебник для высш. учеб. заведений / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.: ил. ; 21 см. – Библиогр.: с. 772. – 5000 экз. – ISBN 5-10-003278-2.
3. **Варнаков, В.В.** Организация и технология технического сервиса машин [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов обучающихся по направлению 110300 «Агроинженерия» / В. В. Варнаков, В. В. Стрельцов, В. Н. Попов, В. Ф. Карпенков. – М.: КолосС, 2007. – 277 с.: ил. ; 21 см. – (Учебники и ученые пособия для студентов высших учебных заведений). – Библиогр.: с. 273. – 1000 экз. – ISBN 978-5-9532-0486-6.
4. **Головин, С.Ф.** Технический сервис транспортных машин и оборудования [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Ф. Головин. – М.: Альфа-М, Инфра-М, 2011. – 288 с. – 2000 экз. – ISBN 978-5-98281-141-7, 978-5-16-003291-7.
5. **Карагодин, В.И.** Ремонт автомобилей и двигателей [Текст]: учеб. пособие / В.И. Карагодин, Н.Н. Митрохин. – 8-е изд., М.: Академия, 2012. – 496 с.: ил. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-7695-9258-4.

## Лекция 10

### **ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ ПОКРЫТИЯ С ОСНОВНЫМ МЕТАЛЛОМ. МЕТОД ВДАВЛИВАНИЯ ИНДЕНТОРА. МЕТОД ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЖЕНИЙ.**

Метод вдавливания индентора позволяет оценивать стадии повреждения покрытия в зависимости от степени пластической деформации основного металла. В поверхность плоского образца, противоположную поверхности с покрытием, на прессе Бринелля вдавливаются при определенной нагрузке индентор – стальной закаленный шар диаметром 10 мм. При этом на поверхности образуется выпуклость, ведущая к появлению повреждений на покрытии. Образец деформируется при возрастающей нагрузке, выбираемой в зависимости от материала основы. Измеряется величина деформации и общая протяженность всех повреждений (трещин) на покрытии. Диаметр отпечатка (величина деформации) измеряется с помощью лупы Бринелля. Образцы представляют собой пластины с покрытием, нанесенным на широкую поверхность. Используется приспособление в виде стола – державки, в гнездо которого устанавливается образец. Специальная оправка прижимает образец к столу, удерживая его от изгиба и втягивания в отверстие. По экспериментальным данным строится график зависимости общей протяженности дефектов от диаметра отпечатка.

Метод динамических нагружений заключается в следующем. По образцу с покрытием, установленному на опорах копра, наносится серия ударов маятником с определенным запасом энергии. По состоянию покрытия (наличию трещин, выколов, разрушения и т. д.) оценивают его когезионную прочность и прочность соединения с основой.

Образец может находиться при комнатной или пониженной температуре (испытание покрытия на хладостойкость). Для исследований можно применять маятниковый копер с набором из трех молотов разной массы. При испытании на хладостойкость применяется термостат – емкость с теплоизоляционными стенками, где образцы выдерживаются в хладоагенте до полного охлаждения. Температура контролируется термопарой «медь – константан» с гальванометром. В качестве охлаждающей жидкости используется петролейный эфир или бензин с жидким азотом для охлаждения до  $-75^{\circ}\text{C}$  и жидкий азот до температуры  $-196^{\circ}\text{C}$ .

Применяются гладкие образцы размером 2x8x55 мм с покрытием. Образцы устанавливаются на опоры таким образом, чтобы удар бойка приходился на сторону, обратную покрытию. На покрытие наносятся две риски на расстоянии 3 мм по обе стороны от середины образца. Этим выделяется для наблюдения зона максимальных растягивающих напряжений при пластической деформации. Результат испытания представляется в виде графика зависимости суммарной длины дефектов покрытия от энергии деформации (при упругой деформации) или от величины деформации и затраченной энергии (при пластической деформации). Для определения хладостойкости покрытия фиксируется его состояние после динамического нагружения при каждой из выбранных температур.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Сущность метода вдавливания индентора при определении прочности сцепления.

2. Достоинства и недостатки метода вдавливания индентора при определении прочности сцепления.
3. Сущность метода динамических нагружений при определении прочности сцепления.
4. Достоинства и недостатки метода динамических нагружений при определении прочности сцепления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### *Основная*

1. **Пучин, Е.А.** Технология ремонта машин: учебник для студентов вузов обуч. по спец. 110304 «Технология обслуживания и ремонта машин в АПК» / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.Л. Очковский [и др.]; под ред. Е.А. Пучина. – М.: КолосС, 2007. – 488 с. – ISBN 978-5-9532-0456-9.

### *Дополнительная*

1. **Малкин, В.С.** Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: –М.: Академия, 2007.– 288 с. ISBN 978-5-7695-3191-0.
2. **Курчаткин, В.В.** Надежность и ремонт машин [Текст]: учебник для высш. учеб. заведений / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.: ил. ; 21 см. – Библиогр.: с. 772. – 5000 экз. – ISBN 5-10-003278-2.
3. **Варнаков, В.В.** Организация и технология технического сервиса машин [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов обучающихся по направлению 110300 «Агроинженерия» / В. В. Варнаков, В. В. Стрельцов, В. Н. Попов, В. Ф. Карпенков. – М.: КолосС, 2007. – 277 с.: ил. ; 21 см. – (Учебники и ученые пособия для студентов высших учебных заведений). – Библиогр.: с. 273. – 1000 экз. – ISBN 978-5-9532-0486-6.
4. **Головин, С.Ф.** Технический сервис транспортных машин и оборудования [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Ф. Головин. – М.: Альфа-М, Инфра-М, 2011. – 288 с. – 2000 экз. – ISBN 978-5-98281-141-7, 978-5-16-003291-7.
5. **Карагодин, В.И.** Ремонт автомобилей и двигателей [Текст]: учеб. пособие / В.И. Карагодин, Н.Н. Митрохин. – 8-е изд., М.: Академия, 2012. – 496 с.: ил. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-7695-9258-4.

## Лекция 11

### **ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКРЫТИЙ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРИСТОСТИ. ОЦЕНКА ПРОНИЦАЕМОСТИ. ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ.**

Пористость – одна из важнейших характеристик покрытий. Особенности пористой структуры, а также ее стабильность влияют на такие эксплуатационные свойства покрытий, как тепло- и электропроводность, газопроницаемость, электросопротивление и др.

Влияние пористости на конструктивную прочность двояко. Если пористое покрытие наносится на поверхность, работающую в паре трения, то при смазывании может увеличиваться износостойкость, так как находящаяся в порах смазка будет сравнительно равномерно подаваться в зону трения. Отрицательный эффект от наличия пор характерен для защитных покрытий, когда по открытым порам агрессивные газы или жидкости достигают основного металла. Следовательно, покрытие, работающее без смазки при высоких температурах или в агрессивных средах, должно иметь минимальную пористость.

При анализе покрытий различают общую, открытую, закрытую, рассеянную пористости. Общая пористость представляет собой отношение общего объема пор к полному объему покрытия. Открытая и закрытая пористости – части общей пористости, определяемые как отношение объема пор, соответственно сообщающихся с атмосферой и не имеющих выхода на поверхность, к полному объему покрытия.

Проницаемость – это способность материалов пропускать сквозь себя жидкости или газы. Особенно важно знать проницаемость для защитных покрытий, работающих в агрессивной среде при высокой температуре.

Численными критериями проницаемости являются коэффициенты проницаемости и фильтрации. Проницаемость увеличивается с ростом пористости, а также зависит от перепада давлений в образце, толщины и анизотропии покрытия. Обычно наблюдается четкая корреляция между значениями пористости и проницаемости. Это обстоятельство может быть использовано, в частности, для выявления микротрещин в покрытиях. При анализе детонационных и плазменных окисных покрытий было обнаружено, что газопроницаемость на порядок и более превосходит значение их открытой пористости. В результате микроскопических исследований покрытий зафиксировано наличие микротрещин, которые, незначительно увеличивая пористость, резко повышают газопроницаемость. Проницаемости окисных покрытий, полученных разными методами, могут различаться на пять порядков, но даже наиболее плотные детонационные покрытия не смогут надежно защитить основной металл от коррозии в особо агрессивных средах.

Толщина покрытия – кратчайшее расстояние между поверхностями покрытия в данной точке и основного металла. Являясь технологической характеристикой, толщина влияет на такое важное эксплуатационное свойство, как прочность соединения с основным металлом. Увеличение толщины покрытия выше оптимальной приводит не только к ухудшению качества (уменьшению прочности соединения), но и к экономическим издержкам. Требования к толщине нанесенного слоя всегда указываются в технологической документации. Исходя из равномерности

распределения толщины покрытия на поверхности изделия, можно судить об устойчивости режима нанесения.

### Вопросы для самоконтроля

1. Определение пористости покрытий и материалов.
2. Оценка проницаемости покрытий.
3. Измерение и контроль толщины покрытий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

1. **Пучин, Е.А.** Технология ремонта машин: учебник для студентов вузов обуч. по спец. 110304 «Технология обслуживания и ремонта машин в АПК» / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.Л. Очковский [и др.]; под ред. Е.А. Пучина. – М.: КолосС, 2007. – 488 с. – ISBN 978-5-9532-0456-9.

#### *Дополнительная*

1. **Малкин, В.С.** Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: –М.: Академия, 2007.– 288 с. ISBN 978-5-7695-3191-0.
2. **Курчаткин, В.В.** Надежность и ремонт машин [Текст]: учебник для высш. учеб. заведений / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.: ил. ; 21 см. – Библиогр.: с. 772. – 5000 экз. – ISBN 5-10-003278-2.
3. **Варнаков, В.В.** Организация и технология технического сервиса машин [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов обучающихся по направлению 110300 «Агроинженерия» / В. В. Варнаков, В. В. Стрельцов, В. Н. Попов, В. Ф. Карпенков. – М.: КолосС, 2007. – 277 с.: ил. ; 21 см. – (Учебники и ученые пособия для студентов высших учебных заведений). – Библиогр.: с. 273. – 1000 экз. – ISBN 978-5-9532-0486-6.
4. **Головин, С.Ф.** Технический сервис транспортных машин и оборудования [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Ф. Головин. – М.: Альфа-М, Инфра-М, 2011. – 288 с. – 2000 экз. – ISBN 978-5-98281-141-7, 978-5-16-003291-7.
5. **Карагодин, В.И.** Ремонт автомобилей и двигателей [Текст]: учеб. пособие / В.И. Карагодин, Н.Н. Митрохин. – 8-е изд., М.: Академия, 2012. – 496 с.: ил. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-7695-9258-4.

## Лекция 12

### **ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКРЫТИЙ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ.**

Опыт, накопленный при изучении проводимости металлов и сплавов, экспериментальная техника, созданная для исследования электроизоляционных материалов, служат базой для определения электрических свойств покрытий. Рассматриваются многие свойства: удельное электрическое сопротивление, электрическая прочность, электрическая проводимость, контактное сопротивление между покрытием и основным металлом, диэлектрическая проницаемость, температурный коэффициент электрического сопротивления. Что касается керамических покрытий, которые используются в качестве электроизоляционного материала, то основным их свойством следует считать электрическую прочность. За электрическую прочность часто принимают напряженность пробоя, отнесенную к усредненной толщине покрытия.

Разброс значений электрической прочности достигает при комнатной температуре 30%, увеличение температуры испытаний сопровождается уменьшением разброса данных. Пробой может наступить либо при критическом значении напряженности поля, либо из-за локального разогрева покрытия электрическим током. В качестве электроизоляционных применяют покрытия с удельным электрическим сопротивлением не ниже  $10^{10}$  Ом.

Знание термического коэффициента линейного расширения покрытий дает возможность: выбирать оптимальное сочетание материала покрытия и основного металла для работы при повышенных температурах; рассчитывать одну из важнейших характеристик покрытий – величину остаточных напряжений; прогнозировать работоспособность изделий с покрытиями при термоусталостном нагружении.

Несоответствие термического коэффициента линейного расширения основного металла и покрытия приводит к растрескиванию и отслоению последнего при термическом воздействии. Задача оптимального сочетания свойств покрытия и основного металла может быть частично решена при равенстве средних значений термического коэффициента линейного расширения. Вместе с тем при нагреве из-за несовпадения хода кривых расширения даже при равенстве средних значений истинные значения термического коэффициента линейного расширения покрытия и основного металла могут существенно различаться. Вследствие этого в покрытиях возникают временные термические напряжения, которые действуют лишь в момент нагревания или охлаждения изделий и вызваны разностью истинных термических коэффициентов покрытия и основного металла.

Коэффициент теплопроводности (теплопроводность) является служебной характеристикой теплоизоляционных покрытий. Кроме теплоизоляционных покрытий, преграждающих путь тепловому току, применяют теплозащитные покрытия, оберегающие детали и конструкции от термического воздействия главным образом за счет поглощения тепла. Теплостойкие покрытия служат для повышения жаропрочности и жаростойкости. Наряду с экономией основного металла эти покрытия дают

возможность сократить теплопотери или предохранить основной металл от воздействия тепла.

### Вопросы для самоконтроля

1. Определение электрических свойств покрытий.
2. Измерение термического коэффициента линейного расширения материалов и покрытий.
3. Определение теплопроводности материалов и покрытий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

1. **Пучин, Е.А.** Технология ремонта машин: учебник для студентов вузов обуч. по спец. 110304 «Технология обслуживания и ремонта машин в АПК» / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.Л. Очковский [и др.]; под ред. Е.А. Пучина. – М.: КолосС, 2007. – 488 с. – ISBN 978-5-9532-0456-9.

#### *Дополнительная*

1. **Малкин, В.С.** Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: –М.: Академия, 2007.– 288 с. ISBN 978-5-7695-3191-0.
2. **Курчаткин, В.В.** Надежность и ремонт машин [Текст]: учебник для высш. учеб. заведений / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.: ил. ; 21 см. – Библиогр.: с. 772. – 5000 экз. – ISBN 5-10-003278-2.
3. **Варнаков, В.В.** Организация и технология технического сервиса машин [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов обучающихся по направлению 110300 «Агроинженерия» / В. В. Варнаков, В. В. Стрельцов, В. Н. Попов, В. Ф. Карпенков. – М.: КолосС, 2007. – 277 с.: ил. ; 21 см. – (Учебники и ученые пособия для студентов высших учебных заведений). – Библиогр.: с. 273. – 1000 экз. – ISBN 978-5-9532-0486-6.
4. **Головин, С.Ф.** Технический сервис транспортных машин и оборудования [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Ф. Головин. – М.: Альфа-М, Инфра-М, 2011. – 288 с. – 2000 экз. – ISBN 978-5-98281-141-7, 978-5-16-003291-7.
5. **Карагодин, В.И.** Ремонт автомобилей и двигателей [Текст]: учеб. пособие / В.И. Карагодин, Н.Н. Митрохин. – 8-е изд., М.: Академия, 2012. – 496 с.: ил. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-7695-9258-4.

## Лекция 13

### **ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПОКРЫТИЙ. ОБЩЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И АНАЛИЗ СХЕМ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ. СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ВЕЛИЧИНЫ ИЗНОСА. МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЙ В ПАРАХ ТРЕНИЯ.**

Изнашивание – это процесс разрушения материала и отделения его от поверхности твердого тела и (или) накопления остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела. Износ – результат изнашивания, определяемый в единицах длины, объема, массы и др. Износостойкость – свойство материалов оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости или интенсивности изнашивания. Скорость изнашивания выражается отношением значения износа к интервалу времени, в течение которого он возник. Интенсивность изнашивания – это отношение значения износа к пути, на котором происходило изнашивание, или к объему затраченной работы.

На кривой интенсивности изнашивания деталей, работающих в паре трения, можно выделить три стадии: 1 – приработка, 2 – установившееся изнашивание, 3 – ускоренное изнашивание. Первая стадия характеризуется ростом интенсивности изнашивания, что объясняется малой площадью контакта поверхности из-за макро- и микронеровностей и большими контактными нагрузками вследствие этого. В конце стадии приработки устанавливается равновесная, стабильная шероховатость поверхности. Одновременно происходят структурные превращения в поверхностном слое с образованием вторичных структур. В стадии установившегося изнашивания интенсивность изнашивания невелика и постоянна по величине. При ухудшении условий работы может наблюдаться третья стадия – ускоренное изнашивание. В реальных условиях эксплуатации какая-либо из стадий может отсутствовать.

Испытательные средства разделяются на четыре основные группы машин трения. При выборе материалов и покрытий для опор типа «подпятник» может быть использована машина торцевого трения верчения. Машину торцевого трения скольжения применяют для оценки износостойкости покрытий при работе в паре трения «диск-палец». Машина предназначена для исследования покрытий при нагружении в вакууме, триботехнические характеристики покрытия оцениваются по дальности отскока предварительно раскрученного шарика. В машинах торцевого трения скольжения моделируется работа при возвратно-поступательном движении. Износ узлов типа «вал-втулка» может быть определен на машинах периферийного трения скольжения. Износостойкость поверхностно-упрочненных деталей подшипников оценивается на машинах, моделирующих трение шариков в гнездах сепараторов.

При испытаниях на изнашивание обычно используют методы микрометрирования, искусственных баз, весовой метод, химический и спектральный анализы, профилографирование, изотопные методы; износ в условиях эксплуатации оценивают по изменению технических параметров машин.

Сущность последнего метода заключается в анализе изменений рабочих характеристик машины и определении на основании этого интегральной величины

износа. Величину износа, например поршневого кольца двигателя внутреннего сгорания, находят по увеличению расхода масла и уменьшению производительности. К недостаткам данного способа следует отнести большую длительность и трудоемкость испытания. Кроме того, невозможно судить о месте изнашивания и распределения износа по поверхности. Для оценки износостойкости покрытий такой метод применяется редко.

Когда изнашивание приводит к большим изменениям размеров деталей, о величине линейного износа судят по разности размеров до и после испытаний. В качестве мерительного инструмента могут применяться концевые меры длины, оптические инструментальные микроскопы, микрометры и т. д. Приборы, позволяющие определять размеры с точностью до 1 мкм, дают возможность оценить линейный износ с точностью не менее 5 мкм. Увеличение погрешности связано с наличием деформации, неточностью установки инструмента, непостоянством температуры измерений. С помощью микрометрирования можно найти лишь конечную величину износа без оценки его динамики. Увеличение количества замеров связано с еще большими трудностями из-за необходимости дополнительных разборок-сборок. Износ покрытий при изнашивании о закрепленные абразивные частицы рекомендуется оценивать методом микрометрирования, измеряя длину пальчиковых образцов с точностью не менее 0,01 мм. Истирающая способность покрытий определяется в соответствии с уменьшением толщины контрообразца из фторопласта.

Метод искусственных баз наиболее точен. Он широко применяется для оценки износа направляющих металлорежущих станков, деталей текстильных машин, цилиндров авиационных и тракторных двигателей, поршневых колец и т. д. Им, в частности, можно определять износ цилиндров двигателей внутреннего сгорания после 100–150 ч испытаний. Сущность метода состоит в оценке линейного износа по уменьшению размеров суживающегося углубления заранее известной формы. Искусственной базой может служить дно углубления (лунки), от которого измеряется расстояние до изнашиваемой поверхности. Углубление наносят либо путем вдавливания четырехгранной пирамидки на твердомере Виккерса или на приборе ПМТ-3, либо вырезанием специальным резцом.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Понятия изнашивание, износ и скорость изнашивания.
2. Основные стадии изнашивания деталей.
3. Схемы испытательных устройств на износостойкость.
4. Способы оценки величины износа.
5. Методики оценки износостойкости покрытий в парах трения.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

#### *Основная*

1. **Пучин, Е.А.** Технология ремонта машин: учебник для студентов вузов обуч. по спец. 110304 «Технология обслуживания и ремонта машин в АПК» / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.Л. Очковский [и др.]; под ред. Е.А. Пучина. – М.: КолосС, 2007. – 488 с. – ISBN 978-5-9532-0456-9.

#### *Дополнительная*

1. **Малкин, В.С.** Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: –М.: Академия, 2007.– 288 с. ISBN 978-5-7695-3191-0.
2. **Курчаткин, В.В.** Надежность и ремонт машин [Текст]: учебник для высш. учеб. заведений / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.: ил. ; 21 см. – Библиогр.: с. 772. – 5000 экз. – ISBN 5-10-003278-2.
3. **Варнаков, В.В.** Организация и технология технического сервиса машин [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов обучающихся по направлению 110300 «Агроинженерия» / В. В. Варнаков, В. В. Стрельцов, В. Н. Попов, В. Ф. Карпенков. – М.: КолосС, 2007. – 277 с.: ил. ; 21 см. – (Учебники и ученые пособия для студентов высших учебных заведений). – Библиогр.: с. 273. – 1000 экз. – ISBN 978-5-9532-0486-6.
4. **Головин, С.Ф.** Технический сервис транспортных машин и оборудования [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Ф. Головин. – М.: Альфа-М, Инфра-М, 2011. – 288 с. – 2000 экз. – ISBN 978-5-98281-141-7, 978-5-16-003291-7.
5. **Карагодин, В.И.** Ремонт автомобилей и двигателей [Текст]: учеб. пособие / В.И. Карагодин, Н.Н. Митрохин. – 8-е изд., М.: Академия, 2012. – 496 с.: ил. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-7695-9258-4.

## Лекция 14

### **ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПОКРЫТИЙ. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ С ПОКРЫТИЯМИ. ИЗНАШИВАНИЕ ПРИ ФРЕТТИНГ-КОРРОЗИИ. УДАРНО-АБРАЗИВНОЕ ИЗНАШИВАНИЕ. ГИДРОАБРАЗИВНОЕ ИЗНАШИВАНИЕ.**

Определение коэффициента трения и интенсивности изнашивания образцов с покрытием, работающих в паре трения при фрикционном разогреве, описано в ГОСТе. Стандарт устанавливает методику оценки коэффициента трения скольжения материалов и покрытий для узлов трения при ударе. Методы оценки противозадирных свойств металлических покрытий в сочетании со смазочными материалами регламентированы стандартом. Расчет прочности адгезионной связи, возникающей при трении, нужно проводить в соответствии с ГОСТом.

Об истирающей способности нанесенного покрытия можно судить после проведения испытания. Дисковый образец, на радиальную поверхность которого нанесено покрытие, изнашивает при вращении эталонный образец из прессованного фторопласта. В зону трения из резервуара подается смазочное масло. В процессе испытаний следует непрерывно измерять относительное вращение плоского образца и оси ролика. Об истирающей способности поверхности судят по значениям параметров линейной функции, аппроксимирующей зависимость интенсивности изнашивания от давления.

Ориентировочную оценку ресурса изделий с покрытием можно провести по стандартной методике ускоренных ресурсных испытаний. Сущность метода заключается в последовательном ступенчатом чередовании нормального и форсированного режимов. По результатам ускоренных испытаний устанавливается зависимость скорости изменения контролируемого параметра (скорости изнашивания) от уровня изменения этого параметра (износа). Ресурс при нормальных режимах нагружения определяют путем установления функций наработки испытываемого изделия в нормальном режиме от уровня износа. Стандарт распространяется только на те изделия, отказ которых обусловлен постепенным накоплением износных повреждений, проявляющихся в монотонном изменении контролируемого параметра.

Изнашивание при фреттинг-коррозии – это коррозионно-механическое изнашивание соприкасающихся тел при малых относительных перемещениях. Результатом фреттинг-коррозии является интенсивное хрупкое разрушение поверхностей трения. Для данного вида изнашивания характерно два одновременных процесса – схватывание и окисление, причем их интенсивность значительно выше, чем в условиях обычного трения скольжения. Схватывание – местное соединение контактирующих поверхностей – наблюдается даже при невысоких нагрузках. Разрушение поверхности при фреттинг-коррозии проявляется в виде натиров, налипаний, раковин или вырывов, заполненных продуктами изнашивания. Первым диагностическим признаком фреттинг-коррозии служит появление на поверхности трения окрашенных пятен, в которых находятся деформированные окислы. Рост амплитуды колебаний трущихся тел приводит к разрушению поверхности вследствие отслоения частиц материала и увеличения толщины окисных пленок, причем продукты изнашивания обычно не удаляются из зоны контакта. Наряду с процессами микросхватывания и окисления изнашивание интенсифицируется наложением усталостных процессов и абразивным разрушением.

Определяющая роль какого-либо процесса зависит от конкретных условий изнашивания.

Ударно-абразивное изнашивание – это механическое изнашивание в результате динамического контакта взаимодействующих поверхностей при наличии между ними частиц, превосходящих по твердости поверхности индентора и покрытия. Такому изнашиванию подвергаются рабочие органы многих машин в нефтяной и горной промышленности (при бурении шпуров, скважин, при ударном и виброударном способе измельчения пород, при вибропогрузке и т. д.), в машиностроении (при клепке, штамповке, виброударной очистке, обрубке, насечке и т. д.), в строительстве (при разрушении бетона, вскрытии мерзлого грунта, забивке свай и т. д.).

### Вопросы для самоконтроля

1. Ускоренные ресурсные испытания.
2. Специальные методы испытаний на износостойкость образцов с покрытиями.
3. Изнашивание при фреттинг-коррозии.
4. Ударно-абразивное изнашивание.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

1. **Пучин, Е.А.** Технология ремонта машин: учебник для студентов вузов обуч. по спец. 110304 «Технология обслуживания и ремонта машин в АПК» / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.Л. Очковский [и др.]; под ред. Е.А. Пучина. – М.: КолосС, 2007. – 488 с. – ISBN 978-5-9532-0456-9.

#### *Дополнительная*

1. **Малкин, В.С.** Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: –М.: Академия, 2007.– 288 с. ISBN 978-5-7695-3191-0.
2. **Курчаткин, В.В.** Надежность и ремонт машин [Текст]: учебник для высш. учеб. заведений / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.: ил. ; 21 см. – Библиогр.: с. 772. – 5000 экз. – ISBN 5-10-003278-2.
3. **Варнаков, В.В.** Организация и технология технического сервиса машин [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов обучающихся по направлению 110300 «Агроинженерия» / В. В. Варнаков, В. В. Стрельцов, В. Н. Попов, В. Ф. Карпенков. – М.: КолосС, 2007. – 277 с.: ил. ; 21 см. – (Учебники и ученые пособия для студентов высших учебных заведений). – Библиогр.: с. 273. – 1000 экз. – ISBN 978-5-9532-0486-6.
4. **Головин, С.Ф.** Технический сервис транспортных машин и оборудования [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Ф. Головин. – М.: Альфа-М, Инфра-М, 2011. – 288 с. – 2000 экз. – ISBN 978-5-98281-141-7, 978-5-16-003291-7.
5. **Карагодин, В.И.** Ремонт автомобилей и двигателей [Текст]: учеб. пособие / В.И. Карагодин, Н.Н. Митрохин. – 8-е изд., М.: Академия, 2012. – 496 с.: ил. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-7695-9258-4.

## Лекция 15

### **ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПОКРЫТИЙ. ИЗНАШИВАНИЕ ПОКРЫТИЙ В МАССЕ АБРАЗИВНЫХ ЧАСТИЦ. ГАЗОАБРАЗИВНОЕ ИЗНАШИВАНИЕ.**

Интенсивному изнашиванию подвергаются материалы при контакте с движущейся абразивной массой. Изнашивание в потоке абразива характерно для рабочих органов горных, сельскохозяйственных, строительных машин, многих деталей металлургического оборудования, трубопроводов для перемещения сыпучих тел и т. д.

Процесс изнашивания при трении в абразивной массе определяется многими взаимовлияющими факторами. Для процесса характерна малая площадь контакта абразивной частицы с рабочей поверхностью, что вызывает значительные напряжения, величины которых зависят от формы и механических свойств частицы, а также от прижимающей силы. При этом возможны два случая: если возникающие напряжения превышают предел упругости, но ниже предела текучести, то происходит усталостное разрушение; если уровень напряжений выше предела текучести, то изнашивание сопровождается пластической деформацией микрообъемов и происходит последеформационное разрушение. Иногда отмечается процесс шаржирования при котором за счет уменьшения шероховатости поверхности износ резко снижается. Его величина может даже принимать отрицательное значение, т. е. размеры и масса образца будут увеличиваться.

Газоабразивное изнашивание является результатом воздействия твердых частиц, взвешенных в газе и перемещающихся относительно изнашиваемого тела. В результате данного вида изнашивания разрушаются лопатки газовых турбин, детали оборудования электростанций, работающих на твердом топливе, стволы пескометов, лопасти тягодувных машин, различные детали газопроводного и газонасосного оборудования.

Величина износа и механизм изнашивания определяются структурой и свойствами изнашиваемого материала (количеством, размерами и расположением упрочняющих фаз, степенью легирования, прочностью, пластичностью и т. д.) и параметрами газоабразивного нагружения (углом атаки, скоростью удара, физико-механическими характеристиками абразива и т. д.). Одним из важнейших параметров внешнего силового воздействия является угол атаки.

Различают малые, средние углы и углы, соответствующие прямому динамическому внедрению. При малых углах атаки разрушение поверхности обусловлено действием касательных напряжений. Вместе с тем было показано, что разрушение не связано с процессами резания. На это указывают данные рентгеноструктурного анализа и замеры микротвердости поверхностного слоя, свидетельствующие о незначительном наклепе.

При прямом динамическом внедрении абразивных частиц ответственными за разрушение являются прежде всего нормальные напряжения. У вязких пластичных материалов наблюдаются значительно более высокое деформационное упрочнение, локальный рост наклепа, увеличивается неоднородность микроискажений. Частицы износа отделяются лишь после того, как материал будет достаточно охрупчен и в поверхностном наклепанном слое возникнут микротрещины.

Прямое ударное воздействие абразивных частиц на твердые материалы обуславливает возникновение высоких нормальных напряжений, активное зарождение

и развитие микротрещин. Причем изнашивание с отделением частиц происходит без пластической деформации сразу же после первых ударов абразива, т. е. отсутствует предразрушающая фаза наклепа, характерная для пластичных материалов.

При средних углах атаки разрушение происходит из-за временного действия нормальных и касательных напряжений, т. е. носит смешанный, промежуточный характер, сочетая элементы трения, характерные для малых углов атаки, с динамическим внедрением абразива в поверхность материала.

На основании литературных данных, требований ГОСТа, для испытания покрытий на газоабразивное изнашивание можно рекомендовать установку центробежного типа. Основными узлами машины являются ротор с четырьмя внутренними радиальными пазами, бункер с абразивом, основание с держателями образцов, герметизирующий кожух с вентилятором для удаления пыли, образующейся при проведении испытаний. Ротор с частотой 3000 об/мин приводится во вращение двигателем, расположенным под основанием. Абразив поступает из бункера в ротор и по радиальным пазам за счет центробежных сил подается к образцам, закрепленным в держателях. На выходе из пазов ротора скорость абразива достигает 38 м/с. Испытания проводятся при четырех углах атаки: 15, 30, 60, 90°. В качестве критерия стойкости материалов при действии газоабразивного потока возможно использование величины скорости их изнашивания. Эта характеристика оценивается на прямолинейных участках зависимостей «потеря массы образца – время испытаний». В качестве контрольных применяются образцы из стали 45.

Анализ результатов исследований, проведенных на описанной установке, показал, что стойкость струйно-плазменных покрытий в условиях газоабразивного изнашивания, как правило, невысока и во многих случаях существенно ниже, чем стойкость углеродистых сталей.

Данные испытаний свидетельствуют о том, что механизмы разрушения стали 45 и струйно-плазменных покрытий в одинаковых условиях воздействия газоабразивного потока существенно отличаются. Это объясняется внутренним строением наносимых покрытий.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Механизм изнашивания покрытий в массе абразивных частиц.
2. Испытания покрытий при изнашивании в массе абразивных частиц.
3. Механизм газоабразивного изнашивания.
4. Испытания покрытий и материалов при газоабразивном изнашивании.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

#### *Основная*

1. **Пучин, Е.А.** Технология ремонта машин: учебник для студентов вузов обуч. по спец. 110304 «Технология обслуживания и ремонта машин в АПК» / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.Л. Очковский [и др.]; под ред. Е.А. Пучина. – М.: КолосС, 2007. – 488 с. – ISBN 978-5-9532-0456-9.

#### *Дополнительная*

1. **Малкин, В.С.** Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: –М.: Академия, 2007.– 288 с. ISBN 978-5-7695-3191-0.
2. **Курчаткин, В.В.** Надежность и ремонт машин [Текст]: учебник для высш. учеб. заведений / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.: ил. ; 21 см. – Библиогр.: с. 772. – 5000 экз. – ISBN 5-10-003278-2.
3. **Варнаков, В.В.** Организация и технология технического сервиса машин [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов обучающихся по направлению 110300 «Агроинженерия» / В. В. Варнаков, В. В. Стрельцов, В. Н. Попов, В. Ф. Карпенков. – М.: КолосС, 2007. – 277 с.: ил. ; 21 см. – (Учебники и ученые пособия для студентов высших учебных заведений). – Библиогр.: с. 273. – 1000 экз. – ISBN 978-5-9532-0486-6.
4. **Головин, С.Ф.** Технический сервис транспортных машин и оборудования [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Ф. Головин. – М.: Альфа-М, Инфра-М, 2011. – 288 с. – 2000 экз. – ISBN 978-5-98281-141-7, 978-5-16-003291-7.
5. **Карагодин, В.И.** Ремонт автомобилей и двигателей [Текст]: учеб. пособие / В.И. Карагодин, Н.Н. Митрохин. – 8-е изд., М.: Академия, 2012. – 496 с.: ил. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-7695-9258-4.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Пучин, Е.А.** Технология ремонта машин: учебник для студентов вузов обуч. по спец. 110304 «Технология обслуживания и ремонта машин в АПК» / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.Л. Очковский [и др.]; под ред. Е.А. Пучина. – М.: КолосС, 2007. – 488 с. – ISBN 978-5-9532-0456-9.
2. **Малкин, В.С.** Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: –М.: Академия, 2007.– 288 с. ISBN 978-5-7695-3191-0.
3. **Курчаткин, В.В.** Надежность и ремонт машин [Текст]: учебник для высш. учеб. заведений / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.: ил. ; 21 см. – Библиогр.: с. 772. – 5000 экз. – ISBN 5-10-003278-2.
4. **Варнаков, В.В.** Организация и технология технического сервиса машин [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов обучающихся по направлению 110300 «Агроинженерия» / В. В. Варнаков, В. В. Стрельцов, В. Н. Попов, В. Ф. Карпенков. – М.: КолосС, 2007. – 277 с.: ил. ; 21 см. – (Учебники и ученые пособия для студентов высших учебных заведений). – Библиогр.: с. 273. – 1000 экз. – ISBN 978-5-9532-0486-6.
5. **Головин, С.Ф.** Технический сервис транспортных машин и оборудования [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Ф. Головин. – М.: Альфа-М, Инфра-М, 2011. – 288 с. – 2000 экз. – ISBN 978-5-98281-141-7, 978-5-16-003291-7.
6. **Карагодин, В.И.** Ремонт автомобилей и двигателей [Текст]: учеб. пособие / В.И. Карагодин, Н.Н. Митрохин. – 8-е изд., М.: Академия, 2012. – 496 с.: ил. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-7695-9258-4.

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| <b>Введение</b> .....  | 3  |
| <b>Лекция 1.</b> Основные методы исследований технологий и средств то и ремонта.....   | 4  |
| <b>Лекция 2.</b> Роль упрочняющих покрытий в повышении надежности машин.....   | 6  |
| <b>Лекция 3.</b> Основные способы нанесения упрочняющих покрытий.....  | 8  |
| <b>Лекция 4.</b> Методы исследования структуры и физико-механических свойств покрытий.....   | 10 |
| <b>Лекция 5.</b> Механические свойства материалов с покрытиями. Статические испытания. Определение твердости.....  | 12 |
| <b>Лекция 6.</b> Механические свойства материалов с покрытиями. Оценка усталостной прочности. Исследование микропластичности.....  | 15 |
| <b>Лекция 7.</b> Механические свойства материалов с покрытиями. Определение контактной выносливости. Определение механических свойств покрытий.....  | 18 |
| <b>Лекция 8.</b> Прочность соединения покрытия с основным металлом. Метод вытягивания штифта. Метод сдвига (среза).....  | 20 |
| <b>Лекция 9.</b> Прочность соединения покрытия с основным металлом. Метод склеивания. склерометрический метод.....   | 23 |
| <b>Лекция 10.</b> Прочность соединения покрытия с основным металлом. Метод вдавливания индентора. Метод динамических нагружений.....   | 25 |
| <b>Лекция 11.</b> Физические характеристики покрытий. Определение пористости. Оценка проницаемости. Измерение и контроль толщины.....  | 27 |
| <b>Лекция 12.</b> Физические характеристики покрытий. Определение электрических свойств. Измерение термического коэффициента линейного расширения. Определение теплопроводности.....                                   | 29 |
| <b>Лекция 13.</b> Износостойкость покрытий. Общее определение износостойкости и анализ схем испытательных устройств. Способы оценки величины износа. Методики определения износостойкости покрытий в парах трения..... | 31 |
| <b>Лекция 14.</b> Износостойкость покрытий. Специальные испытания образцов с покрытиями. Изнашивание при фреттинг-коррозии. Ударно-абразивное изнашивание. Гидроабразивное изнашивание.....                            | 34 |
| <b>Лекция 15.</b> Износостойкость покрытий. Изнашивание покрытий в массе абразивных частиц. Газоабразивное изнашивание.....  | 36 |
| <b>Библиографический список</b> .....  | 39 |
| <b>Содержание</b> .....  | 40 |