

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ**

О.М. ЛЕВКО

**ДІАГНОСТИКА ТА ДЕФЕКТОСКОПІЯ
МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ**

**Частина 1. Технічна діагностика.
Дефекти металевих матеріалів і виробів**

Дніпропетровськ НМетАУ 2015

УДК 539.51 (075.8)

Левко О.М. Діагностика та дефектоскопія матеріалів і виробів. Частина I. Технічна діагностика. Дефекти металевих матеріалів і виробів: Навч. посібник (російською мовою). – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015. – 48 с.

Системно та послідовно відображені важливі складові сучасної науки про діагностику матеріалів, а саме: викладено відомості про технічну діагностику виробів, якість продукції, неруйнівний контроль якості продукції, дефекти металевих матеріалів та виробів.

Призначений для студентів напряму 6.050403 – інженерне матеріалознавство усіх форм навчання.

Іл. 5. Табл. 1. Бібліогр.: 7 найм.

Друкується за авторською редакцією.

Відповідальна за випуск С.Й. Пінчук, д-р техн. наук, проф.

Рецензенти: Н.Є. Калініна, д-р техн. наук, проф. (ДНУ ім. О. Гончара)
О.В. Бекетов, канд. техн. наук, доц. (ПДАБА)

©Національна металургійна академія
України, 2015

©Левко О.М., 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ.....	5
2. ПРИМЕРЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ.....	8
3. КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ – ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	10
4. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ КАЧЕСТВА	12
5. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ О КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ.....	13
6. НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ.....	15
7. СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ДЕФЕКТОСКОПИИ.....	18
8. ДЕФЕКТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ.....	22
8.1. Понятие о дефектах и дефектной продукции.....	22
8.2. Дефекты, наблюдающиеся в металле при процессах плавки и литья.....	23
8.3. Дефекты в металле при обработке давлением.....	25
8.4. Дефекты термической и электрохимической обработки.....	26
8.5. Дефекты механической обработки.....	27
8.6. Дефекты трубных заготовок и методы их устранения.....	27
8.7. Дефекты сварных соединений и их исправление.....	32
Вопросы для самоконтроля.....	38
ЛИТЕРАТУРА.....	47

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие «Диагностика и дефектоскопия материалов и изделий» состоит из двух частей. Часть 1 – «Техническая диагностика. Дефекты металлических материалов и изделий». Часть 2 – «Методы и средства неразрушающего контроля качества продукции».

Техническая диагностика – молодая наука, возникшая в связи с потребностями современной техники, все возрастающим значением сложных и дорогостоящих технических систем, особенно в машиностроении и радиоэлектронике, требований безопасности, безотказности, долговечности и надежности систем.

Техническая диагностика – наука о распознавании состояния технической системы, включающая широкий круг проблем, связанных с получением и оценкой диагностической информации.

Часть 1 учебного пособия посвящена, главным образом, теоретическим основам технической диагностики. Изучение методов распознавания состояния технических систем необходимо для обоснованного выбора конкретных способов и соответствующих им правил решения задач диагностики.

На ряде отечественных предприятий ощущается отставание производительности труда на контрольных операциях по сравнению с операциями изготовления продукции. Так, например, на металлургических предприятиях, выпускающих трубы, на контроле их качества занято 18 – 20 % рабочих и их число тем больше, чем выше требования к качеству изделий. При контроле разрушению подвергаются 10 – 12 % труб от партии. На машиностроительных заводах количество разрушенных деталей может достигать 15 – 20 % от партии, поскольку из деталей изготовляют образцы для механической, после механической и окончательной термической обработки.

Необходимым звеном производства является контроль качества и определения путей устранения брака продукции для получения заданного уровня ее эксплуатационных характеристик.

Учебное пособие для изучения дисциплины «Диагностика и дефектоскопия материалов и изделий» включает вопросы контроля качества продукции, видов дефектов материалов и изделий, а также неразрушающего контроля качества изделий.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Термин «*диагностика*» происходит от греческого слова «*diagnōstikos*», что означает *распознавание, определение*. В процессе *технической диагностики* устанавливается диагноз, т.е. определяется состояние технической системы.

Таким образом, техническая диагностика – это наука о распознавании состояния технической системы.

Цели технической диагностики. Техническая диагностика изучает методы получения и оценки диагностической информации, диагностические модели и алгоритмы принятия решений. Целью технической диагностики является повышение надежности и ресурса технических систем.

Наиболее важным показателем надежности технической системы является отсутствие отказов во время ее функционирования (работы). Отказы авиационного двигателя в полетных условиях, судовых механизмов во время плавания корабля, энергетических установок в работе под нагрузкой и других технических систем могут приводить к тяжелым последствиям.

Благодаря раннему обнаружению дефектов и неисправностей систем техническая диагностика позволяет предотвратить их отказы в процессе технического обслуживания, т.е. повысить надежность и эффективность эксплуатации технических систем, в том числе систем ответственного назначения.

Ресурс технических систем определяется по наиболее «слабым» экземплярам изделий. При работе системы каждый экземпляр изделий эксплуатируется до предельного состояния в соответствии с рекомендациями и правилами технической диагностики. Эксплуатация машин по техническому состоянию может принести выгоду, эквивалентную стоимости 30 % общего парка машин.

Основные задачи технической диагностики. Техническая диагностика решает обширный круг задач, многие из которых являются смежными с задачами других научных дисциплин.

Техническую диагностику иногда называют безразборной диагностикой, т.е. диагностикой, осуществляемой без разборки системы. Анализ состояния системы проводится в условиях ее эксплуатации, при которых получение информации может быть крайне затруднено. Часто не представляется

возможным по имеющейся информации сделать однозначное заключение и приходится использовать статистические методы.

Основной задачей технической диагностики является распознавание состояния технической системы в условиях ограниченной информации.

Теоретическим фундаментом для решения основной задачи технической диагностики следует считать общую теорию распознавания образов. Эта теория, составляющая важный раздел технической кибернетики, занимается распознаванием образов любой природы (геометрических, звуковых и т. п.), машинным распознаванием речи, печатного и рукописного текстов и др. Техническая диагностика изучает алгоритмы распознавания применительно к задачам, которые обычно могут рассматриваться как задачи классификации. Алгоритмы распознавания в технической диагностике частично основываются на диагностических моделях, устанавливающих связь между состояниями технической системы и их отображениями в пространстве диагностических сигналов.

Важной частью проблемы распознавания являются правила принятия решений (решающие правила). Решение диагностической задачи (отнесение изделия к исправным или неисправным) всегда связано с риском ложной тревоги или пропуска цели. Для принятия обоснованного решения целесообразно привлекать методы теории статистических решений. Такие методы были разработаны в радиолокации.

Решение задач технической диагностики всегда связано с прогнозированием надежности на ближайший период эксплуатации (до следующего технического осмотра). Здесь решения должны основываться на моделях отказов, изучаемых в теории надежности.

Вторым важным направлением технической диагностики является теория контролеспособности. *Контролеспособностью* называется свойство изделия обеспечивать достоверную оценку его технического состояния и раннее обнаружение неисправностей и отказов. Контролеспособность создается конструкцией изделия и принятой системой технической диагностики.

Основной задачей теории контролеспособности является изучение средств и методов получения диагностической информации.

В сложных технических системах используется автоматизированный контроль состояния, который предусматривает обработку диагностической информации и формирование управляющих сигналов. Методы проектирования

автоматизированных систем контроля составляют одно из направлений теории контролеспособности. Наконец, очень важные задачи теории контролеспособности связаны с разработкой алгоритмов поиска неисправностей, разработкой диагностических тестов, минимизацией процесса установления диагноза.

В связи с тем, что техническая диагностика развивалась первоначально только для радиоэлектронных систем, многие авторы отождествляют теорию технической диагностики с теорией контролеспособности (поиском и контролем неисправностей), что ограничивает область приложения технической диагностики.

Структура технической диагностики. Техническую диагностику следует рассматривать как раздел общей теории надежности.

На рисунке 1.1 показана структура технической диагностики. Она характеризуется двумя взаимопроникающими и взаимосвязанными направлениями: теорией распознавания и теорией контролеспособности. Теория распознавания содержит разделы, связанные с построением алгоритмов распознавания, решающих правил и диагностических моделей. Теория контролеспособности включает разработку средств и методов получения диагностической информации, автоматизированный контроль и поиск неисправностей.

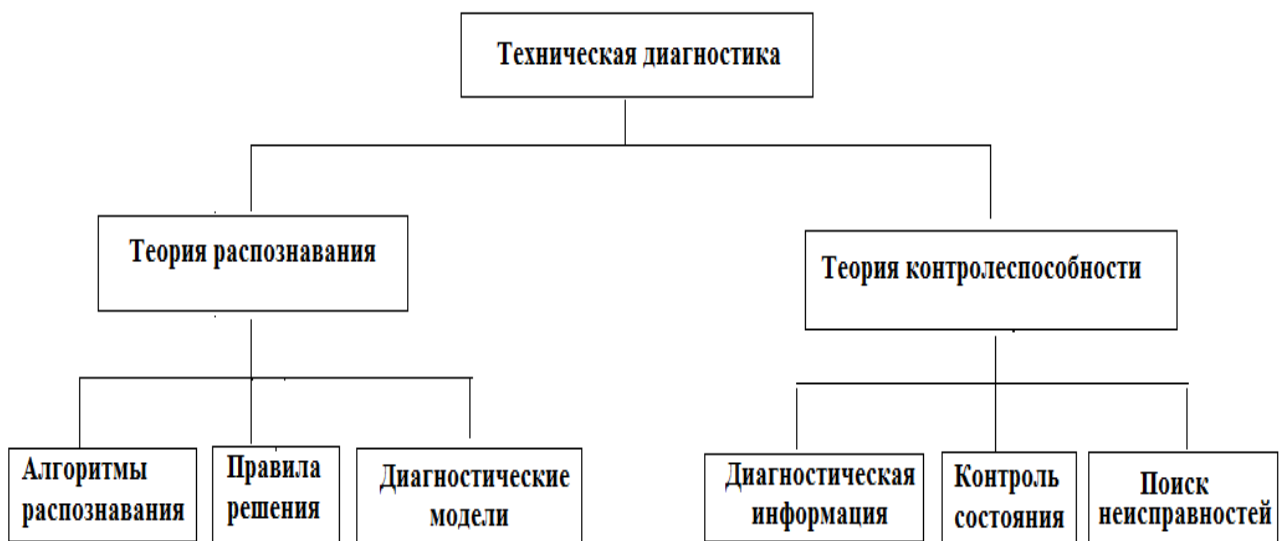


Рис. 1.1. Структура технической диагностики

2. ПРИМЕРЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Техническая диагностика авиационных двигателей. В процессе эксплуатации современных авиационных двигателей контролируется 20 – 40 параметров, причем показания приборов имеют три уровня информации: индикация в кабине летчика; регистрация на борту самолета; наземные проверки.

В кабину летчика выводятся показания важнейших параметров (например, уровня вибрации двигателей), сведения о которых необходимы для правильного пилотирования самолета. Во всех случаях, когда значения параметров достигают предельно допустимых, используется дополнительная сигнализация (световая или звуковая). Значительное количество информации регистрируется на борту самолета с помощью специальных записывающих устройств с последующим хранением информации на магнитных лентах.

Ряд диагностических признаков выявляется при наземной проверке (визуальные осмотры, проверка фильтров и т. п.).

На американском двигателе CF-6 контролируются приблизительно 40 параметров, среди которых: температура газа за турбиной; температура за компрессором; частоты вращения компрессора и вентилятора; давление за вентилятором и компрессором; вибрация в зонах вентилятора, компрессора и на корпусах подшипников. Регистрируются количество и температура масла, показания детекторов стружки в откачивающей магистрали, перепад давления на маслофильтре, сигнализатор минимального давления масла. Контролируются параметры топливной системы, системы запуска, отбора воздуха и других систем.

Большинство параметров (давление, уровень вибрации, частота вращения) записываются 1 – 2 раза за полет и далее направляются в диагностический центр для анализа. В результате анализа и сопоставления с предыдущими показаниями принимается решение о продолжении нормальной эксплуатации либо о дополнительном осмотре, замене детали, узла или снятии двигателя с эксплуатации. В диагностическом центре решение принимается группой специалистов, анализирующих поступающую информацию. Для выработки решений могут использоваться электронные вычислительные машины (ЭВМ), что способствует принятию более обоснованных решений.

Применение счетчиков ресурса. Эквивалентные испытания авиационных двигателей показали, что наибольшие повреждения, особенно деталей горячей части, происходят при работе на наиболее тяжелом (взлетном) режиме. При эксплуатации процент использования тяжелых режимов в двигателях гражданской авиации различен, он зависит от продолжительности полета и других условий. В некоторых американских авиакомпаниях на двигателях устанавливается счетчик ресурса, учитывающий суммарную длительность наработки на тяжелых режимах и число полетных циклов.

Техническая диагностика судовых механизмов (рассматриваются паровые и газовые турбины, дизели, насосы, компрессоры и др.). В Канаде на 100 типах механизмов и электромашин кораблей систематически используется анализатор вибраций. Обнаруживаются повреждения, вызванные неуравновешенностью, расцентровкой и изгибом валов, неисправности шестерен и подшипников. Состояние определяется с помощью ЭВМ, которая сопоставляет уровень вибраций с прежними значениями и нормами.

На основании статистических сведений получены данные, показывающие зависимость среднего срока службы механизма от уровня вибрации, позволяющие своевременно производить профилактические работы и замены.

Применение диагностической системы дает 2 млн. долларов экономии; число неисправностей, обнаруживаемых в процессе непосредственной эксплуатации, снизилось на 45 %.

Основное внимание уделяется вопросам акустической диагностики.

Техническая диагностика поршневых двигателей. Поршневые двигатели (автомобильные, тракторные, стационарные и транспортные дизели) имеют широкое применение. Диагностика осуществляется с помощью передвижных станций, оснащенных виброакустической аппаратурой.

Определение технического состояния двигателя без разборки позволяет повысить его надежность и улучшить техническое обслуживание. Следует учесть, что трудоемкость ремонта двигателей массового производства в 5 – 10 раз превосходит трудоемкость их изготовления. Проведение профилактических работ и ремонта дает значительный экономический эффект.

3. КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ – ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Проблема определения термина «качество продукции» имеет большое практическое значение. В частности, при разработке стандартов и технических условий от правильного понимания этого термина зависит определение того обязательного минимума количественных и других показателей, которым должна отвечать данная продукция. Четкость в определении понятия «качество продукции» имеет важное значение для определения степени стандартизации данного вида продукции, при составлении технической документации на качество изделия, при планировании повышения качества продукции, в договорной, судебной и арбитражной практике.

Согласно с действующим стандартом, **качество продукции – это совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением.** Некоторые ученые склонны дать более широкое определение: **качество – это совокупность всех функциональных, эстетических и экономических показателей продукции.**

Характеристики эти отличаются одна от другой тем, что в первом случае речь идет о свойствах продукции удовлетворять те или иные потребности народного хозяйства и населения страны, а во втором – о характеристиках этих свойств, обуславливающих способность продукции удовлетворять эти потребности.

Западные специалисты в определении понятия «качество» подчеркивают два принципиальных момента, в максимальной мере учитывающие интересы изготовителя и потребителя: **качество продукции – это соответствие требованиям потребителя, достигаемое наиболее экономичным путем.**

В последние годы получило распространение еще одно определение этого понятия: **качество – это совокупность свойств и характеристик изделия или услуги, которые определяют способность удовлетворения требований контракта или ожиданий заказчика.**

В юридической литературе **качество продукции** обычно рассматривается как степень соответствия ее технико-экономических свойств тем специальным требованиям, которые закрепляются в юридических нормах. Правовая окраска определения возникает из-за включения в него указаний на соответствие свойств продукции нормативным требованиям, плановым

предписаниям и договорным условиям. Эти указания закрепляются стандартами, правилами контроля, техническими условиями, контрактами, договорами поставки.

Для оценки совершенства продукции вводится понятие «уровень качества». Уровень качества продукции является относительной характеристикой ее свойств, основанной на сравнении совокупности показателей качества оцениваемой продукции с соответствующей совокупностью базовых показателей.

Базовый показатель качества продукции – это такой показатель, который принимается за исходный при сравнительных оценках качества. За базовые показатели обычно принимаются:

- показатели качества продукции, производимой в нашей стране или за рубежом, которая отвечает самым высоким требованиям и наиболее эффективна в эксплуатации;
- показатели перспективных образцов продукции, найденные опытным или теоретическим путем;
- требования отечественных или международных стандартов и технических условий;
- показатели качества аналогичной продукции, на смену которой приходит новое изделие.

Оценка уровня качества продукции представляет собой совокупность операций, включающих выбор номенклатуры показателей качества, определение их численных значений, а также значений базовых и относительных показателей, определение весомости (значимости) каждого показателя и вычисление комплексной относительной оценки уровня качества.

Количество и состав показателей, используемых для комплексной оценки уровня качества продукции, выбирают в зависимости от вида изделий и цели оценки. При этом по возможности стремятся выбрать функционально не связанные между собой показатели, характеризующие разносторонние свойства изделий.

Руководители японской промышленности нашли и реализовали наилучшую связь между понятиями *качества, продуктивности и рентабельности*. Они пришли к выводу, что хорошее качество – это не результат строгого контроля, а скорее конечный результат последовательности

процессов, не допускающих появления плохих изделий. Для обеспечения такой оптимальной последовательности и качества процессов на предприятиях создают системы качества.

4. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ КАЧЕСТВА

Система качества представляет собой регламентированный стандартами предприятия порядок регулирования производственных процессов, направленный на обеспечение необходимого уровня качества продукции при ее разработке, изготовлении, обращении и эксплуатации. Она является неотъемлемой частью системы управления производством и предназначена для усиления воздействия механизма управления на наиболее важных, ключевых в данное время трудовых процессах и производственных функциях. Система качества включает в себя организационную структуру, персонал, обязанности, методики, стандарты, процессы и оборудование, которые используются для реализации политики и достижения целей в области качества.

Системы качества предусматривают:

- распространение мероприятий по управлению на все службы предприятия;
- организацию управления качеством таким образом, чтобы за него отвечали все и каждый (процесс управления качеством на предприятии должен стимулировать как качественную работу отдельных работников, так и эффективное взаимодействие между подразделениями);
- достижение всестороннего улучшения качества при помощи и непосредственном участии всех сотрудников предприятия;
- стандартизацию производственных процессов и производственных функций в любом направлении деятельности и любом уровне управления;
- мобилизацию усилий всех работающих на безусловное соблюдение требований стандартов;
- удовлетворение запросов потребителя, а не удовлетворение текущих интересов предприятия в эффективности производства и сбыта изделий;

- обязательное применение новых технологий, широкое внедрение ЭВМ при разработках, управлении, измерениях и контроле качества;
- создание четкой, ориентированной на потребителя системы обеспечения качества, доступной для понимания сотрудниками предприятия, т.е. системы, в которую люди поверят и захотят стать ее частью.

5. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ О КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Контроль качества продукции – это процесс получения и обработки информации о продукции с целью определения нахождения ее параметров в заданных пределах. Процесс контроля заключается в установлении соответствия действительных значений физических величин установленным предельным значениям, т.е. в проверке соответствия показателей качества установленным требованиям.

Важными критериями качества деталей машин являются физические, химические, геометрические и функциональные показатели, а также технологические признаки, например, отсутствие недопустимых дефектов типа нарушения сплошности материала, соответствие физико-механических свойств и структуры основного материала и покрытия, химического состава, геометрических размеров и чистоты обработки поверхностей требуемым технической документацией и др.

Проверку соответствия продукции или процессов, от которых зависит качество продукции, установленным техническим требованиям называют *техническим контролем*.

Контроль, осуществляемый на стадии производства продукции, называют *производственным*. Контроль, осуществляемый на стадии эксплуатации, называют *эксплуатационным*. Каждый из них может быть *ручным, механизированным и автоматизированным*.

В зависимости от места в технологическом процессе производственный контроль подразделяют на *входной, операционный, сплошной, выборочный и приемочный*.

Входным называется контроль материалов, комплектующих изделий и готовой продукции, поступивших на предприятие–потребитель от других предприятий или участков производства. Входной контроль позволяет

предупредить образование дефектов из-за ошибок поставщика, собрать объективную информацию о поступающих материалах и сформулировать дополнительные требования к качеству исходных материалов.

Операционный контроль – контроль продукции во время выполнения или после завершения определенной производственной операции, например, сварки, термообработки и т.д.

Приемочный контроль – контроль готовой продукции, по результатам которого принимается решение о ее пригодности к использованию или поставке. Приемочный контроль является наиболее ответственной заключительной операцией всего процесса изготовления продукции.

В зависимости от объемов проверки продукции входной, операционный и приемочный контроль может быть *сплошным или выборочным*.

Сплошной контроль – контроль каждой единицы продукции, осуществляемый с одинаковой полнотой.

Выборочный контроль – контроль выборок или проб из партии или потока продукции.

В процессе эксплуатации изделий проводят профилактический *плановый и целевой* контроли.

Плановый контроль – контроль после определенной наработки или некоторого срока хранения изделия для обнаружения и устранения дефектов эксплуатационного происхождения.

Целевой контроль – внеплановый разовый контроль, проводимый для обнаружения и устранения дефектов конструктивно-производственного или эксплуатационного происхождения. Необходимость этого контроля выявляется в процессе эксплуатации изделий.

Организационные формы контроля могут быть различными и зависят от конкретного производства и его масштабов, вида продукции, целей контроля и других факторов. Наиболее распространенными являются:

– *скользящий контроль*, т.е. приемочный или операционный контроль, осуществляемый средствами контроля, доставляемыми к месту его проведения. Такой контроль применяют для крупных конструкций, транспортировка которых затруднительна, невозможна или экономически нецелесообразна. Это, например, корпуса сосудов давления, монтажные сварные швы крупногабаритных конструкций и т.п.;

- *стационарный контроль*, т.е. контроль, проводимый на специально оборудованном участке (например, контроль листового проката, труб, валов и т.п.); характерен для серийного и массового производства;

- *летучий контроль*, т.е. выборочная проверка качества проведения приемочного или операционного контроля, осуществляемая в случайное время. Цель летучего контроля – поддержание необходимого уровня технологической дисциплины;

- *инспекционный контроль*, т.е. выборочный контроль продукции или технологического процесса, осуществляемый специально назначенной группой людей с целью проверки эффективности ранее выполненного контроля.

При этом может проверяться состояние оборудования, оснастки, технологической дисциплины, правильность ведения отчетной документации и др. Инспекционный контроль обычно бывает выборочным. Он может быть как плановым, так и летучим.

При эксплуатации объектов, к которым предъявляются особо высокие требования по надежности и безопасности, наряду с плановым контролем по времени наработки проводят *непрерывный контроль*, т.е. такой контроль, при котором поступление информации о контролируемых параметрах происходит непрерывно. Осуществляют непрерывный контроль за состоянием высоконагруженных ответственных деталей, узлов, систем или объектов в целом. Для этого, как правило, применяют средства автоматизированного контроля – вибрационную диагностику, акустическую эмиссию и т.п.

6. НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Неразрушающим контролем (НК) называют технический контроль, при котором не нарушается пригодность объекта к применению. В противном случае технический контроль называют *разрушающим*.

Методом контроля называют правила применения определенных принципов и средств контроля.

Существующие методы контроля НК предназначены для:

- выявления дефектов типа нарушения сплошности материала изделий;
- оценки структуры материала изделий;

- контроля геометрических параметров изделий;
- оценки физико-химических свойств материала изделий;
- оценки механических свойств материала изделий.

Неразрушающий контроль с применением дефектоскопов основан на получении информации в виде электрических, световых, звуковых и других сигналов о качестве проверяемых объектов при взаимодействии их с физическими полями (электрическими, магнитными, акустическими и др.) и веществами.

В зависимости от физических принципов работы методы НК разделяют на группы, называемые *видами*. В энергомашиностроении применяют следующие виды НК: *акустический, магнитный, оптический, радиационный, вихретоковый и проникающими веществами*. Методы каждого вида НК классифицируют по следующим признакам:

- характеру взаимодействия физических полей или веществ с контролируемым объектом. Например, в акустическом виде контроля по этому признаку выделяют методы прошедшего излучения (теневой), отраженного излучения (эхо-метод) и другие;
- первичным информативным параметрам. В акустическом виде по этому признаку выделяют амплитудный, фазовый, спектральный и другие методы;
- способам получения первичной информации. В акустическом виде сюда относят пьезоэлектрический и электромагнитно-акустический.

Объемы применяемых методов и средств НК на всех этапах изготовления и эксплуатации во многом зависят от назначения изделия. Задачи, решаемые НК, определяются этапами его применения.

На этапе научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию изделий НК применяют для:

- получения необходимых данных, подтверждающих правильность выбранных решений;
- сокращения времени и объемов необходимых исследований;
- отбора материалов, компонентов и оборудования, обеспечивающих получение продукции необходимого качества с минимальными материальными и трудовыми затратами. На этом этапе выбирают оптимальные методы и

средства НК, разрабатывают основные технические требования к стандартным образцам и критерии приемки изделия.

На этапе производства и испытаний опытной партии деталей НК применяют для отработки технологических процессов и конструкций, а также при испытании изделий. Результаты контроля используют для внесения изменений в конструкцию и технологические процессы с целью снижения материалоемкости и трудоемкости производства, повышения надежности и долговечности продукции. На этой стадии устанавливают необходимые технические требования к НК качества изделия.

На этапе производства, испытаний и гарантийного обслуживания серийной продукции НК используют для:

- установления соответствия материалов, полуфабрикатов и готовых изделий заданным техническим требованиям (пассивный контроль);
- целей управления и регулирования технологическими процессами (активный контроль).

На этапе эксплуатации и ремонта изделий и оборудования НК дает возможность предотвратить поломки и аварии, сократить простои и эксплуатационные расходы, увеличить сроки эксплуатации и межремонтных периодов, а также сократить продолжительность и стоимость ремонтов. На основе результатов НК может быть принято решение об изъятии изделия из эксплуатации.

Эффективность применения НК определяется его принципиальными преимуществами по сравнению с *разрушающими испытаниями* изделий.

К преимуществам разрушающих испытаний следует отнести возможность измерения абсолютных значений разрушающих нагрузок и напряжений, определяющих эксплуатационную надежность изделия.

Принципиальным недостатком разрушающих испытаний является то, что они проводятся выборочно, т.е. только на части изделий из партии. Поскольку испытываемые материалы и изделия разрушаются в процессе контроля, достоверность разрушающих методов зависит от однородности исследуемых свойств в образцах и изделиях, а также от сходства условий испытаний с условиями эксплуатации. По сравнению с НК разрушающие испытания, как правило, более трудоемки, менее производительны и труднее поддаются автоматизации.

В современном производстве применяют сочетание разрушающих испытаний с методами НК. С помощью НК изделия сортируют по различным группам качества. Разрушающие испытания образцов изделий, взятых из каждой группы, позволяют установить соответствие эксплуатационных характеристик изделия измеренным. Если эти связи установлены достаточно точно, то НК позволяет резко сократить объем и периодичность разрушающих испытаний. В этом случае разрушающие испытания могут производиться для проверки результатов НК.

К НК предъявляют следующие основные общие требования:

- возможность осуществления эффективного контроля на разных стадиях изготовления, в эксплуатации и при ремонте;
- возможность контроля качества продукции по большинству заданных параметров;
- согласованность времени, затрачиваемого на контроль, с временем работы другого технологического оборудования;
- высокая достоверность результатов контроля;
- возможность механизации и автоматизации контроля технологических процессов, а также управления ими с использованием сигналов, выдаваемых средствами НК;
- высокая надежность дефектоскопической аппаратуры и возможность использования ее в различных условиях;
- простота методики контроля, техническая доступность средств контроля в условиях производства, ремонта и эксплуатации;
- высокая производительность результатов контроля.

7. СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ДЕФЕКТОСКОПИИ

Требования к дефектоскопичности изделий. На основе анализа расчетных напряжений, результатов статистических и динамических испытаний, а также статистики отказов при эксплуатации аналогичных по конструкции образцов техники специалисты по проектированию оборудования разрабатывают требования к методам и объему неразрушающего контроля деталей и узлов оборудования.

Для сосудов, работающих под давлением, методы и объемы контроля сварных соединений и наплавки назначаются с учетом их разбивки на категории и группы. Категория сварного соединения и наплавки устанавливается в зависимости от условий эксплуатации сварных конструкций и возможностей ремонта. Сварные швы подразделяют на группы в зависимости от рабочего давления. Категория каждого сварного соединения определяется проектной организацией и должна быть указана в чертеже или схеме контроля.

Конструктор должен указать методы и средства НК, в том числе и устройства встроенного дефектоскопического контроля объектов, возможность контроля которых должна быть обеспечена в запланированном объеме. Если невозможно использовать известные методы и средства контроля, необходимо разработать и рекомендовать новые. Очень важно, чтобы на этом же этапе были определены критерии для регистрации и браковки несплошностей, то есть нормативные требования. Конструкторы и технологи должны позаботиться о том, чтобы на стадии изготовления, эксплуатации и ремонта была обеспечена дефектоскопическая технологичность деталей и узлов оборудования.

Под *дефектоскопичностью* понимают совокупность свойств конструкции и ее деталей, необходимых для обеспечения возможности дефектоскопического контроля деталей, узлов и агрегатов ответственного назначения (при производстве, испытании, эксплуатации и ремонте) в объеме и с достоверностью, предусмотренными руководящей технической документацией.

Для обеспечения дефектоскопичности объект должен быть *контролепригодным* и *контроледоступным*.

Контролепригодность определяется совокупностью физико-химических и технологических свойств объекта, позволяющих осуществить его проверку данным методом НК. Например, участок стальной аустенитной поковки толщиной 390 мм, имеющий крупнозернистую структуру, является неконтролепригодным для ультразвуковой (УЗ) дефектоскопии из-за большого затухания и высокого уровня помех, связанных с отражениями на границах зерен (влияние физических свойств). Неконтролепригодна для УЗ контроля также литая стальная заготовка, имеющая на поверхности многочисленные раковины и отслаивающуюся окалину и не прошедшая механическую обработку (влияние технологических свойств).

Контроледоступность характеризуется отсутствием конструктивных или других пространственных ограничителей, препятствующих проведению НК данным методом в необходимом объеме. Например, сварной шов приварки днища к сосуду является неконтроледоступным для УЗ дефектоскопии со стороны днища, если длина прямолинейного участка поверхности, примыкающего к шву со стороны днища, меньше толщины стенки сосуда.

В условиях эксплуатации контроледоступность должна обеспечиваться при минимуме демонтажных работ и затрат времени. Обеспечение на стадии проектирования свободных подходов к контролируемым деталям исключает в эксплуатации необходимость доработки конструкции изделий для проведения контроля. Неудовлетворительная дефектоскопичность конструкции препятствует внедрению методов НК при эксплуатации и ремонте изделий или снижает эффективность их применения.

В зависимости от степени влияния указанных выше факторов на дефектоскопичность объекты контроля могут классифицироваться по степеням контролепригодности или контроледоступности.

После назначения методов и объема контроля конструктор должен согласовать возможность их реализации со службой, ответственной за выполнение НК. При этом на основе действующих для данного изделия руководящих документов должна быть определена степень контроледоступности объекта. В случае технической невозможности выполнения необходимого объема контроля может быть принято решение об изменении конструкции детали или узла с целью обеспечения требуемой степени контроледоступности.

Технологические службы совместно со службой НК устанавливают место НК в технологическом процессе, необходимые подготовительные операции, оборудование и оснастку, технологию проведения контроля, необходимые трудозатраты на подготовку и выполнение контрольных операций.

Требования к средствам дефектоскопического контроля. К средствам дефектоскопического контроля относятся дефектоскопы, преобразователи, дефектоскопические материалы (проникающие и флуоресцирующие жидкости, проявляющие краски, магнитные порошки, суспензии и др.), стандартные образцы (СО) и стандартные образцы предприятия (СОП), вспомогательные приборы (рентгеноэкспонетры, приборы контроля концентрации суспензии и

степени размагниченности деталей и т.п.), необходимые приспособления (фиксирующие и сканирующие устройства, стойки, компенсаторы и др.).

Дефектоскопы по своему назначению подразделяются на универсальные и специализированные, а последние, в свою очередь, на неавтоматизированные дефектоскопы и автоматизированные комплексные системы контроля. Универсальные дефектоскопы предназначены для контроля различных по форме и размерам деталей и узлов, а специализированные – для контроля однотипных деталей.

Дефектоскопические средства должны удовлетворять общим техническим требованиям Государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации. Основным из них является соблюдение принципов агрегатного построения приборных комплексов, унификации и стандартизации приборов и устройств.

Для обеспечения возможности включения дефектоскопов в автоматизированные системы (линии) контроля они должны обладать высокой производительностью и информационной совместимостью с другими агрегатными комплексами и работать с нормализованными входными и выходными сигналами.

При разработке дефектоскопа должны также учитываться требования метрологического обеспечения по таким параметрам, как погрешность и выявляемость дефектов.

В процессе эксплуатации параметры дефектоскопических средств могут изменяться, следовательно, для поддержания параметров в заданных пределах необходима их периодическая поверка. Объем и периодичность проверок определяется стандартами на дефектоскопические средства, стандартами на методы контроля, инструкциями по эксплуатации дефектоскопов, а также методическими документами по проведению НК.

Требования к дефектоскопистам. Использование новейшей техники, обслуживание прогрессивных технологий и производство на этой основе качественной продукции должны обеспечиваться высоким профессионализмом и мастерством дефектоскопистов, инженерно-технических работников и руководителей службы неразрушающего контроля. В этих целях высшими учебными заведениями, научно-исследовательскими институтами и другими специализированными предприятиями создана и постоянно совершенствуется система непрерывной подготовки, переподготовки и повышения квалификации

кадров, которая должна обеспечивать необходимый рост их квалификации и мастерства.

В связи с тем, что НК во многих случаях еще остается ручным, роль дефектоскопистов при контроле очень велика. В их функции входит настройка дефектоскопов, тщательное выполнение предусмотренных методикой операций контроля, оценка показаний индикаторов и принятие решений по выявленным дефектам. Чтобы снизить влияние субъективных факторов на результаты контроля к дефектоскопистам предъявляются следующие требования:

- наличие образования не ниже среднего;
- теоретическая подготовка по методам и средствам НК и технике безопасности в объеме требований к дефектоскопистам, изложенным в документах Национального Аттестационного Комитета по неразрушающему контролю (НАК НК).

8. ДЕФЕКТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

8.1. Понятие о дефектах и дефектной продукции

Дефектом называется каждое несоответствие продукции установленным требованиям (ГОСТ 15467 – 79).

Дефекты по их расположению подразделяют на *наружные* и *внутренние*. Одни поверхностные дефекты (забоины, вмятины и др.) выявляют визуально при внешнем осмотре, другие – можно обнаружить только с помощью инструмента или прибора (раковины в литых заготовках, непровары и трещины в сварных швах и т.д.).

Дефект, устранение которого технически возможно и экономически целесообразно, называют *устранимым*. Если устранение дефекта технически невозможно или связано с большими трудовыми затратами, то такой дефект считают *неустранимым*.

В зависимости от влияния на эффективность и безопасность использования продукции все дефекты подразделяются на *критические*, *значительные* и *малозначительные*:

– *критический* – дефект, при наличии которого использование продукции по назначению практически невозможно или недопустимо, поскольку она не отвечает требованиям безопасности или надежности;

– *значительный* – дефект, который существенно влияет на использование продукции по назначению и на ее долговечность, но не является критическим;

– *малозначительный* – дефект, который не влияет существенно на использование продукции по назначению и на ее долговечность.

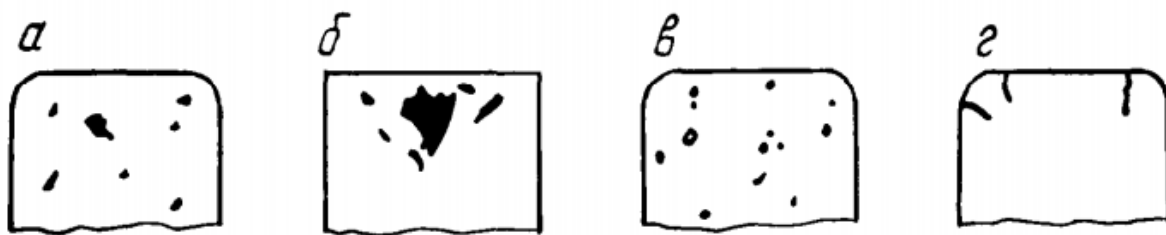
Дефекты изделий по происхождению подразделяют на *конструктивные*, являющиеся следствием несовершенства конструкции из-за ошибок конструктора; *производственно-технологические*, возникающие из-за несовершенства или нарушения технологии изготовления изделия при отливке и прокатке металлов, сварке, механической, термической и других видах обработки; *эксплуатационные*, появляющиеся после некоторой продолжительности функционирования изделия в результате усталости металла деталей, коррозии, изнашивания, а также неправильного технического обслуживания и эксплуатации.

Ниже рассмотрены основные дефекты, встречающиеся в металлических заготовках, полуфабрикатах, сварных швах и изделиях в процессе их изготовления.

8.2. Дефекты, наблюдающиеся в металле при процессах плавки и литья

Несоответствие заданному химическому составу получается вследствие ошибок, допущенных при расчете шихты, из-за неправильного проведения плавки или выгорания отдельных компонентов сплава. В результате отклонений от заданного химического состава происходит изменение рабочих характеристик сплава. Такие отливки не могут быть использованы для изготовления изделий ответственного назначения.

Неметаллические (шлаковые и флюсовые) включения (рис. 8.1, а) появляются из-за нарушения технологии плавки. Например, в стали они могут образовываться, вследствие засорения шлаками, продуктами раскисления, огнеупорами и продуктами реакции между ними.



a – неметаллические (шлаковые и флюсовые) включения;

б – усадочная раковина; *в* – газовая пористость; *г* – трещины

Рис. 8.1. Дефекты металла, образующиеся в процессе плавки и литья

Неметаллические включения (рис. 8.1, *a*) имеют неправильную форму и располагаются в различных местах отливки. В слитке шлаковые включения в основном расположены в верхней его части.

Неслитины образуются в металле вследствие пониженных скорости и температуры литья. Они представляют собой несплошности, начинающиеся у поверхности слитка.

Усадочные раковины (рис. 8.1, *б*) возникают из-за недостаточного питания слитка или отливки металлом в процессе кристаллизации. В результате в верхней части слитка образуются большие полости неправильной формы.

Газовая пористость и газовые пузыри (рис. 8.1, *в*) появляются при кристаллизации из-за выделения газов, растворившихся в металле в процессе плавки. Эти дефекты рассеяны по всему объему слитка или сосредоточены в подкорковом слое. В отличие от шлаковых включений газовые пузыри имеют округлую или продолговатую форму.

Горячие трещины (рис. 8.1, *г*) возникают в процессе затвердевания сложных сплавов. Под воздействием термических и усадочных напряжений при высоких температурах происходит разрушение закристаллизовавшегося сплава; при этом образуются межкристаллические горячие трещины с сильно окисленными поверхностями. Характерными признаками горячих трещин являются неровные (рваные) края и значительная ширина.

Холодные трещины появляются в слитке после окончания процесса затвердевания при относительно низких температурах. Холодные трещины имеют светлые неокисленные поверхности.

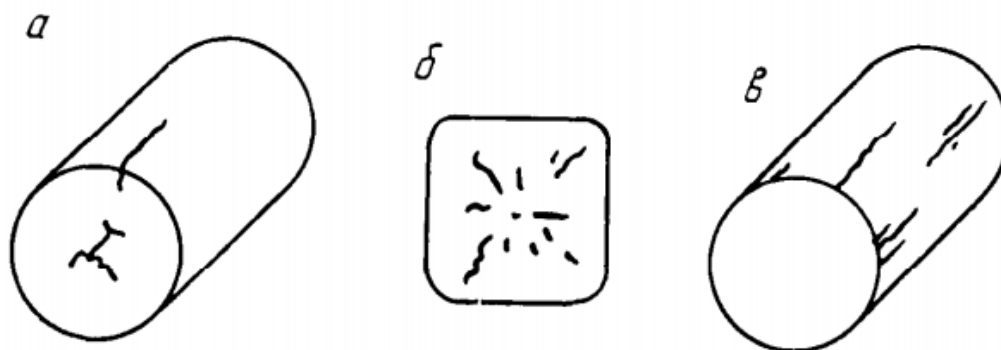
Ликвация представляет собой неоднородность отдельных участков металла по химическому составу, структуре и неметаллическим включениям. Этот дефект не нарушает сплошности металла, однако, прочность металла в

зоне ликвационной неоднородности понижена. В этой зоне иногда наблюдается разрушение металла.

8.3. Дефекты в металле при обработке давлением

Трещины поверхностные и внутренние, разрывы (рис. 8.2, *а*) появляются в поковке (штамповке, прокате) из-за значительных напряжений в металле при деформации. При обработке давлением металл неоднократно подвергается нагреву и охлаждению, что приводит к возникновению термических напряжений, способствующих образованию внутренних разрывов и трещин.

Расслоения – внутренние нарушения сплошности, ориентированные по направлению волокна, возникают при обработке давлением слитка, имевшего усадочные раковины или рыхлоты, а также при прокате листа в результате расплющивания сравнительно крупных неметаллических включений и газовых пузырей.



а – разрывы; *б* – флокены; *в* – волосовины

Рис. 8.2. Дефекты обработки металлов давлением

Шлаковые включения в исходных заготовках являются металлургическим браком при дальнейшей горячей объемной штамповке приводят к нарушению сплошности в поковке.

Флокены (рис. 8.2, *б*) появляются наиболее часто в среднеуглеродистых и среднелегированных сталях при повышенном содержании в них водорода. Они обычно возникают в центральной зоне кованных или катаных заготовок крупных сечений и реже в слитках. Флокены имеют вид тонких извилистых трещин,

представляющих собой в изломе пятна округлой формы с поверхностью характерного серебристого цвета.

Волосовины (рис. 8.2, в) являются результатом деформации мелких неметаллических включений и газовых пузырей. Эти дефекты имеют вид тонких линий длиной от долей миллиметра до нескольких сантиметров, расположенных на поверхности и в подповерхностном слое металла.

Закаты возникают при избытке металла в валках (калибрах) в виде заусенцев глубиной более 1 мм, закатанных в диаметрально расположенных направлениях.

Плены – брызги жидкой стали, застывшие на поверхности слитка и раскатанные при прокате в виде отслаивающихся с поверхности пленок толщиной до 1,5 мм.

8.4. Дефекты термической и электрохимической обработки

Перегрев или пережог возникает при термической обработке металла из-за несоблюдения заданной температуры, времени выдержки, скорости нагрева и охлаждения детали. Пережог вызывает образование крупного зерна и оплавление границ зерен, что способствует в дальнейшем разрушению металла.

Трещины термические (в том числе закалочные) – результат резкого нагрева или охлаждения металла (например, при закалке). Они могут начинаться на поверхности детали и распространяться вглубь или, наоборот, возникать внутри детали в ее сердцевинной части и распространяться в направлении поперечного сечения.

Обезуглероживание наблюдается при нагреве стальных изделий в средах, содержащих избыток паров воды, углекислого газа или водорода. При этом происходит выгорание углерода в поверхностных слоях, что значительно снижает прочность стали. В изделиях из инструментальной стали, прокаливающихся полностью или на большую глубину и имеющих обезуглероженный слой, возникают поверхностные трещины глубиной до 1 – 2 мм и даже больше.

Науглероживание наблюдается при нагреве стальных изделий в среде с избыточным количеством оксида углерода. Это приводит к насыщению поверхностных слоев углеродом, увеличивающему хрупкость изделия и его склонность к трещинообразованию.

Трещины водородные появляются при насыщении поверхностного слоя стали водородом под действием щелочей, кислот и специальных растворов при травлении и электрохимической обработке. Насыщение поверхностного слоя водородом приводит к резкому падению пластичности и хрупкому разрушению, очагом которых обычно становятся микротрещины, имеющиеся на поверхности детали.

8.5. Дефекты механической обработки

Трещины отделочные возникают в поверхностном слое металла, наклепанном при отделочных операциях. Поверхностные микротрещины в дальнейшем при работе детали под нагрузкой могут значительно увеличиваться.

Прижоги, трещины шлифовочные появляются в результате резкого нагрева поверхностного слоя стального изделия при нарушении режима шлифования или полирования. Эти дефекты представляют собой либо закаленные участки небольшой площади, либо участки с сеткой тонких трещин на поверхности детали.

8.6. Дефекты трубных заготовок и методы их устранения

Качество исходной заготовки в значительной степени определяет качество готовых труб, так как дефекты, имеющиеся на заготовках и слитках, обычно сохраняются и на готовых трубах. Наружные дефекты заготовки могут изменять свою форму и значительно увеличиваться в процессе дальнейшей прокатки. Техническими условиями на трубные заготовки предусматривается удаление поверхностных дефектов, видимых невооруженным глазом, так как количество наружных дефектов, имеющихся на заготовке, повышается пропорционально увеличению поверхности трубы, а удаление их с поверхности готовой трубы ослабляет толщину стенки. Поэтому целесообразнее и легче ремонтировать трубную заготовку, чем прокатанную из нее трубу.

Поверхностные дефекты трубной заготовки по своему происхождению разделяются на: сталеплавильные; образовавшиеся при нагреве; прокатного происхождения.

Доля дефектов прокатного происхождения составляет 20 – 30 % общего количества дефектов, образующихся при производстве бесшовных труб.

Дефекты на слитках, которые наиболее часто встречаются:

- плены;
- поверхностные трещины;
- волосовины;
- подкорковые пузыри;
- неметаллические включения;
- усадочная раковина и др.

Основной вид брака трубных слитков (более 90 % общего количества) – горячие продольные и поперечные трещины на их боковой поверхности, образующиеся при кристаллизации.

Основное количество (до 75%) брака по продольным трещинам приходится на круглые слитки, на граненые слитки приходится до 15 – 20 % брака.

Трещиностойкость слитков при разливке зависит от:

- температуры нагрева;
- марки стали;
- скорости наполнения изложниц при разливке;
- конфигурации слитка;
- содержания серы в металле;
- характера раскисления стали и др.

Методы улучшения качества исходного металла для производства бесшовных труб:

- разливку стали под слоем жидких синтетических шлаков;
- утепление головной части слитка зольно-графитовыми смесями;
- разливку металла под жидкотвердеющими смесями;
- улучшение технологии раскисления стали и др.

Несмотря на принимаемые меры, круглые мартеновские слитки, которые используют для производства труб на ТПА с пилигримовым станом, имеют глубокую усадочную рыхлость, наличие подкорковых пузырей, достаточно большое количество неметаллических включений и другие дефекты.

Возникновение плен (особенно внутренних) на трубах, прокатываемых на пилигримовых установках, вызвано сочетанием дефектов макроструктуры

слитков с повышенной загрязненностью металла неметаллическими включениями, высоким содержанием вредных примесей и т.д. В месте расположения плен на слитке поверхность металла окислена, обезуглерожена и поражена неметаллическими включениями.

Дефекты поверхности, образовавшиеся из дефекта слитка или литой заготовки:

- *раскатанная (раскованная) трещина* – разрыв металла, образовавшийся при раскатке (ковке) продольной или поперечной трещины слитка или литой заготовки, заполненный окалиной;

- *трещина напряжения* – разрыв металла, идущий вглубь под прямым углом к поверхности, образовавшийся вследствие напряжений, вызванных структурными превращениями;

- *раскатанный пузырь* – нарушение сплошности поверхности при прокатке наружного или подповерхностного пузыря слитка или литой заготовки;

- *раскатанная корочка* – частичное отслоение металла, образовавшееся в результате раскатки завернувшихся корочек, которые представляют собой скопления неметаллических включений, окисленных заливин и брызг, образовавшихся на поверхности слитка. На микрошлифе в зоне дефекта наблюдается обезуглероживание металла и скопление неметаллических включений сложного состава;

- *скворечник* – выходящая на поверхность полость со сглаженными и окисленными стенками, образовавшаяся при прокатке в результате раскрытия внутренних трещин;

- *рванина* – раскрытые разрывы, расположенные поперек или под углом к направлению наибольшей вытяжки металла при прокатке (ковке), образовавшиеся вследствие пониженной пластичности металла. На микрошлифе в зоне дефекта наблюдаются разветвленные разрывы металла; в зоне, прилегающей к дефекту, могут быть окалина, оксиды, нитриды, образовавшиеся по раскрытым разрывам при охлаждении или вторичном нагреве металла;

- *чешуйчатость* – отслоение и разрывы в виде сетки, образовавшиеся при прокатке вследствие перегрева или пониженной пластичности металла периферийной зоны;

– *прокатная плена* – отслоение металла языкообразной формы, соединенное с основным металлом одной стороной, образовавшееся вследствие раскатки рванин; нижняя поверхность отслоения и металл под ним покрыты окалиной;

– *подрез* – продольное углубление, располагающееся по всей длине или на отдельных участках поверхности и образовавшееся вследствие неправильной настройки привалковой арматуры или одностороннего перекрытия калибров;

– *закат* – прикатанный продольный выступ металла с одной или с двух противоположных сторон, образовавшийся в результате вдавливания уса или подреза, а также следов зачистки и грубых рисок;

– *риски* – продольное углубление с закругленным или плоским дном, образовавшееся от царапания поверхности металла наварями и другими выступами на прокатной арматуре;

– *отпечатки* – углубления или выступы, расположенные по всей поверхности или на отдельных ее участках, образовавшиеся от выступов и углублений на прокатных валках;

– *рябизна* – углубления от вдавливания окалины, образовавшейся при прокатке (ковке); обнаруживается после удаления окалины.

Реже встречаются такие дефекты, как шлифовочные трещины, травильные трещины, остатки окалины, перетрав, царапины, заусенцы.

Причины, приводящие к появлению грубых дефектов на поверхности непрерывнолитого металла достаточно хорошо исследованы. По характеру дефектов на его поверхности можно определить источник их образования.

Влияние технологических факторов на образование дефектов поверхности непрерывнолитых заготовок представлено в таблице 8.1.

Таблица 8.1

Дефекты поверхности непрерывнолитых заготовок и причины их образования

Вид дефекта	Причина образования
1	2
<i>Пояс</i>	Перерыв струи металла из промежуточного ковша Остановка машины непрерывной разливки стали (МНРС)
<i>Трещины продольные по границе заготовки</i>	Большое содержание серы в металле Высокая скорость разливки Нарушение теплоотвода в кристаллизаторе Некачественная шлакообразующая смесь Нарушение режима вторичного охлаждения и установки погружного стакана
<i>Трещины продольные по ребру заготовки</i>	Нарушение теплоотвода в кристаллизаторе
<i>Трещины поперечные</i>	Нарушение теплоотвода в кристаллизаторе Некачественная шлакообразующая смесь Высокая температура металла
<i>Ужимины</i>	Колебания уровня металла в кристаллизаторе Нарушение теплоотвода в кристаллизаторе
<i>Шлаковые включения</i>	Некачественная шлакообразующая смесь Колебания уровня металла в кристаллизаторе Нарушение установки погружного стакана
<i>Заливины, завороты</i>	Колебания уровня металла в кристаллизаторе Некачественная шлакообразующая смесь
<i>Пузыри</i>	Недостаточное раскисление металла Нарушение установки погружного стакана Некачественная шлакообразующая смесь
<i>Центральная пористость</i>	Несоблюдение температурно-скоростного режима разливки и охлаждения заготовки

Катаные или круглые заготовки по сравнению с литыми не имеют усадочной рыхлости и других дефектов, присущих литому металлу, и отличаются более точными размерами и чистой поверхностью, что позволяет изготавливать трубы лучшего качества. Поверхностные дефекты таких заготовок возникают в результате нагрева или прокатки.

В мировой практике трубного производства работы по улучшению качества трубной заготовки проводят по трем основным направлениям:

- совершенствование технологии выплавки и внепечной обработки стали;
- широкое внедрение непрерывной разливки стали;
- совершенствование технологии прокатки и отделки трубной заготовки.

8.7. Дефекты сварных соединений и их исправление

При сварке металлы подвергаются расплавлению и затвердеванию, поэтому в сварных соединениях могут быть дефекты, присущие литому металлу (раковины, поры, шлаковые включения и др.). Кроме того, под воздействием высокой температуры в зоне термического влияния (околошовной зоне) изменяются размеры зерен, возникают перегрев, закалка и отпуск, горячие и холодные трещины. Причинами образования дефектов в сварных швах могут быть недоброкачественность исходных материалов, нарушение режима сварки, а также низкая квалификация и культура труда рабочих.

В зависимости от места нахождения и вида дефекты сварных соединений условно разделяют на *наружные* и *внутренние*.

Наружные (внешние) дефекты – это дефекты формы шва, а также прожоги, кратеры, наплывы, подрезы и др. (рис. 8.3). В большинстве случаев внешние дефекты можно выявить визуально.

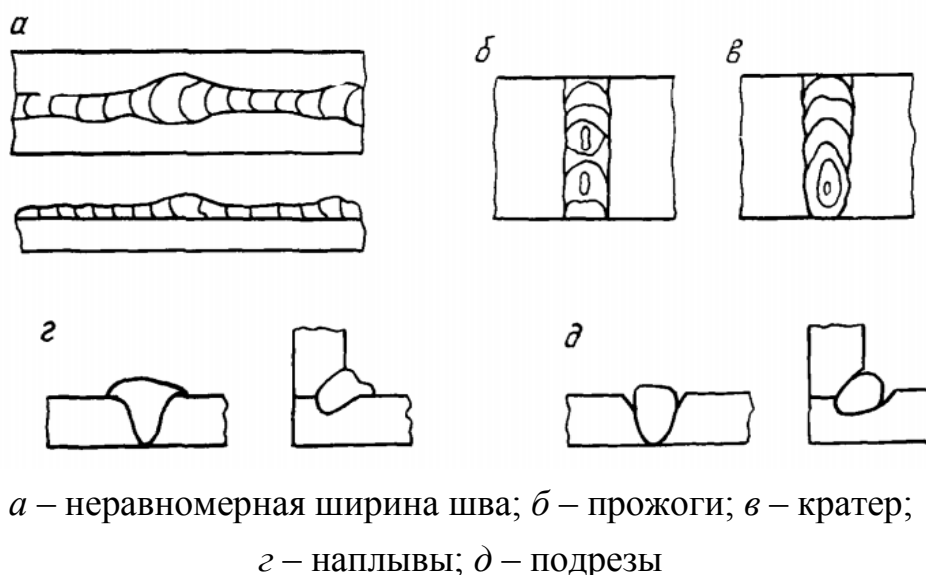
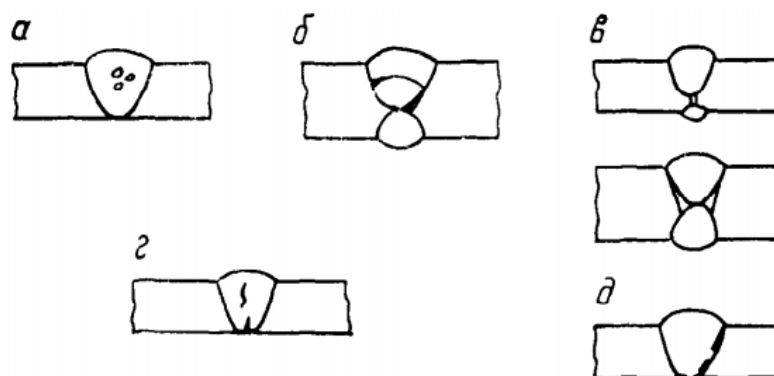


Рис. 8.3. Внешние дефекты сварных швов

К *внутренним дефектам* относятся поры, шлаковые и неметаллические включения, непровары, трещины и несплавления (рис. 8.4). Эти дефекты подлежат выявлению ультразвуком (УЗ).



а – поры; б – шлаковые включения;
в – непровары в корне шва и по кромке; г – трещина; д – несплавления

Рис. 8.4. Внутренние дефекты сварных швов

Выявление дефектов при УЗ-контроле в значительной мере зависит от их формы и ориентации. С этой точки зрения внутренние дефекты можно разделить на *объемные* и *плоскостные*.

К *дефектам объемной формы* относят поры, шлаковые включения и их разновидности.

Поры газовые (рис. 8.4, а) образуются вследствие загрязненности кромок свариваемого металла, использования влажного флюса или отсыревших

электродов, недостаточной защиты шва при сварке в среде углекислого газа, увеличенной скорости сварки и завышенной длины дуги. При сварке в среде углекислого газа, а в некоторых случаях и под флюсом на больших токах образуются сквозные поры – так называемые свищи. Размер внутренних пор может колебаться от 0,1 до 2 – 3 мм иногда и более в диаметре. Поры могут быть распределены в шве отдельными группами (скопление пор), в виде цепочки по продольной оси шва или в виде отдельных включений (одиночные поры).

В зависимости от количества, размера, места расположения пор, от характера нагрузок, воспринимаемых конструкциями, поры оказывают различное влияние на статическую и вибрационную прочность. Для конструкций, работающих в условиях статического нагружения, допускается площадь пор не более 7 % расчетного сечения шва. Для конструкций, работающих при вибрационных нагрузках, допускается площадь пор – не более 4 – 5 % расчетного сечения шва.

При УЗ-дефектоскопии округлые поры выявляются слабо. Это объясняется тем, что их отражательная способность мала из-за неблагоприятной формы.

Шлаковые включения (рис. 8.4, б) в металле сварного шва – это небольшие объемы, заполненные неметаллическими веществами (шлаками, оксидами). Размеры их достигают нескольких миллиметров. Эти включения образуются в шве из-за плохой очистки свариваемых кромок от окалины и других загрязнений, а чаще всего от шлака на поверхности первых слоев многослойных швов перед заваркой последующих слоев.

Шлаковые включения могут быть различной формы: круглые, плоские, в виде пленки или продолговатые в виде вытянутых «хвостов». Влияние одиночных шлаковых включений на работоспособность сварных конструкций примерно такое же, как и газовых пор.

Обычно шлаковые включения имеют более вытянутую форму и больший размер по сравнению с порами. Поэтому, в отличие от пор, они лучше обнаруживаются ультразвуком.

К плоскостным дефектам относятся *непровары*, *трещины* и *несплавления*.

Непровары – несплошности на границах между основным и наплавленным металлами (рис. 8.4, в) или незаполненные металлом полости в сечении шва. Причинами образования непроваров являются плохая подготовка

кромки свариваемых листов, малое расстояние между кромками листов, неправильный или неустойчивый режим сварки и т.п. Непровары снижают работоспособность соединения за счет ослабления рабочего сечения шва. Острые непровары могут создать концентрацию напряжений в шве. В конструкциях, работающих под статическими нагрузками, непровары 10 – 15 % от толщины свариваемого металла не оказывают существенного влияния на эксплуатационную прочность. Однако, они являются чрезвычайно опасными, если конструкции работают при вибрационных нагрузках.

Трещины – частичное местное разрушение сварного соединения (рис. 8.4, з). Они могут возникать в результате надрыва металла.

Причинами образования трещин могут быть:

- усадочные напряжения, превышающие предел прочности металла;
- жесткое закрепление свариваемых элементов;
- структурные напряжения, например, образование мартенсита;
- повышенное содержание углерода, серы и фосфора в металле;
- сварка при низкой температуре;
- дефекты шва (поры, шлаковые включения и т.д.), вызывающие местную концентрацию напряжений в металле шва;
- сосредоточение нескольких швов на небольшом участке изделия, вызывающее повышенные местные напряжения (концентрация напряжений).

Трещины являются наиболее опасным и по существующим правилам контроля недопустимым дефектом.

Несплавление – это дефект, когда наплавляемый металл сварного шва не сплавляется с основным металлом или с ранее наплавленным металлом предыдущего слоя того же шва (рис. 8.4, д).

Несплавление образуется вследствие плохой зачистки кромок свариваемых деталей от окалина, ржавчины, краски, при чрезмерной длине дуги, недостаточном токе, большой скорости сварки и др.

Наиболее вероятно образование данного дефекта при аргонодуговой сварке алюминиево-магниевых сплавов, а также при сварке давлением. Несплавление – очень опасный дефект, плохо выявляемый современными методами дефектоскопии и является недопустимым дефектом.

Выявление ультразвуком плоскостных дефектов во многом зависит от их ориентации и расположения в сварном шве.

Все вышеуказанные дефекты встречаются, главным образом, при сварке плавлением. При сварке с давлением и пайке наиболее часты и опасны *несплавления* и *непронай*. *Непронай* возникает в паяных соединениях вследствие недостаточной чистоты соединяемых поверхностей или нарушения температурного режима пайки и представляет собой полное или частичное незаполнение паяного зазора припоем.

Характерным дефектом в изделиях, изготавливаемых из двухслойных материалов, является *отслоение*. Оно появляется в процессе получения двухслойных листов или труб, а также при их сварке и обработке давлением.

Исправление дефектов.

Все недопустимые дефекты сварного шва подлежат обязательному устранению, а если это невозможно, сварное изделие бракуется.

В конструкциях из стали допускается устранение дефектов плазменно-дуговой или воздушно-дуговой резкой с последующей обработкой поверхности абразивами. Можно устранять наружные дефекты шлифовкой. Если производится заварка выбранных участков в швах, подлежащих обязательной термической обработке (из легированных и хромистых сталей), то приступать к исправлению дефектов следует только после отпуска сварного соединения при $450 \div 650^{\circ}\text{C}$.

Удаление заглубленных наружных и внутренних дефектов (дефектных участков) в соединениях из алюминия, титана и их сплавов следует производить только механическим способом – вышлифовкой абразивным инструментом или резанием, а также вырубкой с последующей зашлифовкой.

Подрезы принято устранять наплавкой ниточного шва по всей длине дефекта. Однако, это ведет к повышению расхода сварочных материалов. В таких случаях целесообразно применять оплавление подреза аргонодуговыми горелками, что позволяет «сгладить» дефекты без дополнительной наплавки. Однако, производить сварочные работы аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом по швам, выполненным другими способами сварки, не рекомендуется из-за возможности нахождения в шве пор, шлака и т.п.

Наплывы и неравномерности формы шва исправляют механической обработкой дефекта по всей длине.

Кратеры швов заваривают. Прожоги в швах наблюдаются редко, их зачищают и заваривают.

При удалении дефектных мест рекомендуется соблюдать приведенные ниже условия:

- длина удаляемого участка должна быть равна длине дефектного участка плюс 10 – 20 мм с каждой стороны, а ширина разделки изделия должна быть такой, чтобы ширина шва после заварки не превышала двойной ширины до заварки;
- форма и размеры подготовленных под заварку изделий должны обеспечивать возможность надежного провара в любом месте;
- поверхность каждого изделия должна иметь плавные очертания без резких выступов, острых углублений и заусенцев;
- при заварке дефектного участка должно быть обеспечено перекрытие прилегающих участков основного металла.

После заварки участок необходимо зачистить до полного удаления раковин и рыхлости в кратере и создания плавных переходов к основному металлу.

В сварных швах со сквозными трещинами перед заваркой требуется засверлить концы трещин, чтобы предотвратить их распространение. Дефектный участок в этом случае проваривают на полную глубину.

Заварку дефектного участка производят одним из способов сварки плавлением (ручной дуговой, дуговой в среде инертных газов и т.д.), обеспечивающих качество сварного шва в соответствии с требованиями, предъявляемыми к изделию.

Исправленные швы сварных соединений следует повторно проконтролировать. Если при этом опять обнаружены дефекты, то вновь производят их исправление с соблюдением необходимых требований. Число исправлений одного и того же дефектного участка шва зависит от категории ответственности конструкции и не должно превышать трех.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение термина «диагностика».
2. Что такое техническая диагностика?
3. Что изучает техническая диагностика?
4. Назовите цель технической диагностики.
5. Назовите главный показатель надежности.
6. Что позволяет устранить техническая диагностика?
7. Назовите основную задачу технической диагностики.
8. С чем связано решение задач технической диагностики?
9. Каким образом анализируются результаты при технической диагностике?
10. В чем разница между технической диагностикой и техническим контролем?
11. Дайте определение термина «контролеспособность».
12. Что такое контроль качества продукции?
13. Дайте определение термина «технический контроль».
14. Дайте определение термина «неразрушающий контроль».
15. Дайте определение термина «разрушающий контроль».
16. Назовите задачи неразрушающего контроля.
17. Что является конечным результатом неразрушающего контроля?
18. Что такое метод контроля?
19. Для чего используют методы контроля?
20. Каким образом разделяют методы неразрушающего контроля в зависимости от физических принципов их работы?
21. По каким признакам классифицируют методы неразрушающего контроля?
22. Каким образом определяют задачи, которые решают с помощью неразрушающего контроля?
23. Какой неразрушающий контроль используют на этапе научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию изделий?
24. Какой неразрушающий контроль используют на этапе производства и испытания опытной партии деталей?
25. Для чего используют результаты контроля?
26. Какой неразрушающий контроль используют на этапе производства, исследований и гарантийного обслуживания серийной продукции?
27. Дайте определение термина «пассивный контроль».
28. Дайте определение термина «активный контроль».

29. Для чего используют неразрушающий контроль на этапе эксплуатации и ремонта изделий и оборудования?
30. Чем определяется эффективность использования неразрушающего контроля?
31. Перечислите преимущества разрушающих испытаний.
32. Перечислите недостатки разрушающих испытаний.
33. От чего зависит достоверность разрушающих методов контроля?
34. В чем разница между разрушающими и неразрушающими испытаниями?
35. Какие требования предъявляют к неразрушающему контролю?
36. Дайте определение термина «производственный контроль».
37. Дайте определение термина «эксплуатационный контроль».
38. На какие группы разделяют эксплуатационный и производственный контроли?
39. Каким образом подразделяют производственный контроль в зависимости от места в технологическом процессе?
40. Дайте определение термина «входной контроль».
41. Какие существуют возможности входного контроля?
42. Дайте определение термина «операционный контроль».
43. Дайте определение термина «приемочный контроль».
44. Какой контроль является заключительной операцией всего процесса изготовления продукции?
45. Каким образом подразделяют входной, операционный и приемочный контроли в зависимости от количества проверяемой продукции.
46. Дайте определение термина «сплошной контроль».
47. Дайте определение термина «выборочный контроль».
48. Какой контроль проводят в процессе эксплуатации изделий?
49. Дайте определение термина «плановый контроль».
50. Дайте определение термина «целевой контроль».
51. Дайте определение термина «непрерывный контроль».
52. Назовите область применения непрерывного контроля.
53. Какие наиболее распространенные виды организационного контроля Вы знаете?
54. Дайте определение термина «скользящий контроль».
55. Назовите область использования скользящего контроля.
56. Дайте определение термина «стационарный контроль».

57. Какой контроль применяют для серийного и массового производства продукции?
58. Дайте определение термина «летучий контроль».
59. Для чего используют летучий контроль?
60. Дайте определение термина «инспекционный контроль».
61. Кем и с какой целью осуществляют инспекционный контроль?
62. Каким образом подразделяют инспекционный контроль?
63. Дайте определение термина «дефектоскопичность».
64. С помощью чего определяют контролепригодность изделий?
65. Чем характеризуют контроледоступность изделий?
66. Чему препятствует неудовлетворительная дефектоскопичность конструкции?
67. Что относят к средствам дефектоскопического контроля?
68. Каким образом подразделяются дефектоскопы по своему назначению?
69. Для каких целей предназначены универсальные дефектоскопы?
70. Для каких целей предназначены специализированные дефектоскопы?
71. Какие технические требования предъявляют к дефектоскопическим средствам?
72. Какие требования предъявляют для включения дефектоскопов в автоматизированные системы контроля?
73. Какие требования следует учитывать при разработке дефектоскопов?
74. Какую операцию выполняют для дефектоскопических средств контроля после эксплуатации?
75. Какие причины поверки дефектоскопических средств контроля Вы знаете?
76. Чем необходимо руководствоваться при определении количества и периодичности проверок?
77. Дайте определение термина «дефектоскопия».
78. Дайте определение термина «интроскопия».
79. Дайте определение термина «измерение».
80. Дайте определение термина «испытания».
81. Дайте определение термина «дефект».
82. Каким образом подразделяются дефекты по их расположению?
83. Какие виды дефектов можно обнаружить визуально?
84. Какие виды дефектов можно обнаружить с помощью приборов?
85. Дайте определение термина «устранимый дефект».

86. Дайте определение термина «неустранимый дефект».
87. Как подразделяются дефекты в зависимости от влияния на эффективность и безопасность использования продукции?
88. Дайте определение термина «критический дефект».
89. Дайте определение термина «значительный дефект».
90. Дайте определение термина «малозначительный дефект».
91. В чем разница между критическим и значительным дефектом?
92. Чем отличается значительный дефект от незначительного?
93. Каким образом подразделяют дефекты по их происхождению?
94. Дайте определение термина «конструктивный дефект».
95. Дайте определение термина «производственно-технологический дефект».
96. Дайте определение термина «эксплуатационный дефект».
97. Какие дефекты плавления и литья металлов Вы знаете?
98. Дайте определение дефекта «несоответствие заданному химическому составу».
99. Дайте определение дефекта «неметаллические включения».
100. Объясните, при каких условиях возникает дефект «неметаллические включения».
101. Какую форму имеют неметаллические включения и где они располагаются?
102. Дайте определение дефекта «неслитины».
103. В результате чего возникают неслитины?
104. Дайте определение дефекта «усадочная раковина».
105. При каких условиях возникает дефект «усадочная раковина»?
106. Что такое «газовая пористость» и каковы условия ее возникновения?
107. Какую форму имеют газовые пузыри?
108. Дайте определение дефекта «ликвация».
109. Дайте определение дефекта «горячие трещины».
110. При каких условиях возникает дефект «горячие трещины»?
111. Укажите характерные признаки горячих трещин.
112. Дайте определение дефекта «холодная трещина».
113. При каких условиях возникает дефект «холодные трещины»?
114. Какие дефекты относятся к дефектам обработки металлов давлением?
115. Дайте определение дефекта «поверхностные трещины» при обработке металлов давлением.

116. При каких условиях возникают поверхностные и внутренние трещины, а также разрывы?
117. Дайте определение дефекта «расслоение».
118. Каковы причины возникновения дефекта «расслоение» при обработке металлов давлением?
119. Дайте определение дефекта «шлаковые включения».
120. Дайте определение дефекта «флокены».
121. Укажите зоны возникновения дефекта «флокены».
122. Какой вид имеют флокены?
123. Дайте определение дефекта «волосовины».
124. Какой вид имеет дефект «волосовины»?
125. Каковы причины возникновения дефекта «закаты»?
126. Дайте определение дефекта «закаты».
127. Дайте определение дефекта «плены».
128. Какие дефекты термической и электрохимической обработки Вы знаете?
129. Дайте определение дефекта «перегрев» или «пережог».
130. Укажите причины возникновения дефекта «перегрев».
131. Какие факторы вызывают пережог?
132. Дайте определение дефекта «термические трещины».
133. В результате чего возникает дефект «термические трещины»?
134. Дайте определение дефекта «обезуглероживания».
135. Укажите причины возникновения дефекта «обезуглероживание».
136. Дайте определение дефекта «науглероживание».
137. Укажите причину возникновения дефекта «науглероживание».
138. Дайте определение дефекта «водородные трещины».
139. К чему приводит насыщение поверхностного слоя водородом?
140. Дайте определение дефектам механической обработки металлов.
141. Дайте определение дефекта «отделочные трещины».
142. При каких условиях возникают отделочные трещины?
143. Дайте определение дефекта «прижоги», «шлифовочные трещины».
144. При каких условиях возникают дефекты «прижоги», «шлифовочные трещины»?
145. Дайте определение дефектам сварных швов.
146. Что происходит в зоне термического влияния под действием высокой температуры?

147. При каких условиях возникают дефекты сварных швов?
148. Каким образом разделяют дефекты в зависимости от места нахождения и вида?
149. Дайте определение дефекта «внешний дефект сварного шва».
150. Каким образом можно обнаружить внешний дефект сварного шва?
151. Дайте определение дефекта «внутренний дефект сварного шва».
152. Каким образом можно выявить внутренний дефект сварного шва?
153. При каких условиях можно обнаружить дефекты с помощью ультразвукового контроля?
154. Дайте определение внутренним дефектам сварных швов.
155. Каким образом разделяют внутренние дефекты в зависимости от их форм и ориентации?
156. Какие дефекты сварных швов относят к дефектам объемной формы.
157. Дайте определение дефекта «газовые поры».
158. При каких условиях возникают газовые поры?
159. При каких условиях возникают сквозные поры («свищи»)?
160. Укажите размер внутренних пор (в диаметре) в металле сварного шва.
161. Дайте определение дефекта «шлаковые включения» в металле сварного шва. Укажите их размеры.
162. При каких условиях возникают шлаковые включения в металле сварного шва.
163. Какой формы бывают шлаковые включения в металле сварного шва?
164. Какие плоскостные дефекты в металле сварного шва Вы знаете?
165. Дайте определение дефекта «непровары».
166. При каких условиях возникают непровары?
167. Как влияют непровары на работоспособность сварного соединения?
168. Дайте определение дефекта «трещины в металле сварного шва».
169. При каких условиях возникают трещины в металле сварного шва?
170. Какой дефект является недопустимым в металле сварного шва?
171. Дайте определение дефекта «несплавления» в металле сварного шва.
172. При каких условиях возникают несплавления в металле сварного шва?
173. От чего зависит выявление плоскостных дефектов в металле сварного шва?
174. Перечислите и дайте определение дефектам, возникающим при сварке плавлением.

175. Какие наиболее частые и опасные дефекты при сварке давлением и пайке Вы знаете?
176. Дайте определение дефекта «непропай» в паяных соединениях.
177. При каких условиях возникает дефект «непропай» в паяных соединениях?
178. Дайте определение дефекта «отслаивание» в паяных соединениях.
179. При каких условиях возникает отслаивание в паяных соединениях?
180. Каким образом удаляют внешние дефекты в металле сварного шва?
181. При каких условиях можно удалять внешние дефекты шлифованием без дальнейшего заваривания мест выборки?
182. Каким образом удаляют углубленные внешние и внутренние дефекты в соединениях из алюминия, титана и их сплавов?
183. Каким образом удаляют дефектные участки в конструкциях из стали?
184. Каким образом исправляют дефекты заваркой выборок в сварочных соединениях из легированных и хромовых сталей?
185. При каких условиях удаляют дефектные места в металле сварного шва?
186. Какие действия выполняют после заваривания дефектного участка в металле сварного шва?
187. Каким образом исправляют дефекты в сварных швах со сквозными трещинами?
188. Каким образом контролируют исправления дефектов в сварных соединениях?
189. Перечислите и дайте определение дефектов «трубной заготовки».
190. Каким образом определяют качество готовых труб?
191. Что предполагается техническими условиями на трубные заготовки?
192. Каким образом распределяются дефекты трубных заготовок?
193. Перечислите и дайте определение поверхностных дефектов трубных заготовок.
194. Назовите виды поверхностных дефектов трубных заготовок по их происхождению.
195. Назовите виды дефектов на слитках.
196. Назовите основной вид брака трубных слитков.
197. От каких факторов зависит трещиностойкость слитков при разливке стали?
198. Назовите методы улучшения качества начального металла для производства бесшовных труб.

199. Чем вызвано возникновение дефекта «плены» на трубах, прокатанных на пилигриммовом стане?
200. Назовите дефекты поверхности, которые образовались из дефекта слитка или литой заготовки.
201. Дайте определение дефекта «раскатанная трещина».
202. Дайте определение дефекта «трещина напряжения».
203. Дайте определение дефекта «раскатанный пузырь».
204. Дайте определение дефекта «раскатанная корочка».
205. Дайте определение дефекта «скворечник».
206. Дайте определение дефекта «рванина».
207. Дайте определение дефекта «чешуйчатость».
208. Дайте определение дефекта «прокатная плена».
209. Дайте определение дефекта «подрез».
210. Дайте определение дефекта «закат».
211. Дайте определение дефекта «риска».
212. Дайте определение дефекта «отпечатки».
213. Дайте определение дефекта «рябизна».
214. Назовите наименее распространенные виды дефектов литой заготовки.
215. Дайте определение дефекта «пояс» поверхности непрерывнолитых заготовок.
216. Дайте определение дефекта поверхности непрерывнолитых заготовок «трещины продольные по грани заготовки».
217. Назовите технологические факторы, влияющие на образование дефекта поверхности непрерывнолитых заготовок «трещины продольные по грани заготовки».
218. Дайте определение дефекта поверхности непрерывнолитых заготовок «трещины продольные по ребру заготовки».
219. Назовите технологические факторы, влияющие на образование дефекта поверхности непрерывнолитых заготовок «трещины продольные по ребру заготовки».
220. Дайте определение дефекта поверхности непрерывнолитых заготовок «трещины поперечные».
221. Назовите технологические факторы, влияющие на образование дефекта поверхности непрерывнолитых заготовок «трещины поперечные».

222. Дайте определение дефекта поверхности непрерывнолитых заготовок «ужимины».
223. Назовите технологические факторы, влияющие на образование дефекта поверхности непрерывнолитых заготовок «ужимины».
224. Дайте определение дефекта поверхности непрерывнолитых заготовок «шлаковые включения».
225. Назовите технологические факторы, влияющие на образование дефекта поверхности непрерывнолитых заготовок «шлаковые включения».
226. Дайте определение дефекта поверхности непрерывнолитых заготовок «заливины, завороты».
227. Назовите технологические факторы, влияющие на образование дефекта поверхности непрерывнолитых заготовок «заливины, завороты».
228. Дайте определение дефекта поверхности непрерывнолитых заготовок «пузыри».
229. Назовите технологические факторы, влияющие на образование дефекта поверхности непрерывнолитых заготовок «пузыри».
230. Дайте определение дефекта поверхности непрерывнолитых заготовок «центральная пористость».
231. Назовите технологические факторы, влияющие на образование дефекта поверхности непрерывнолитых заготовок «центральная пористость».
232. Каких дефектов не имеют катаные и круглые заготовки?
233. Чем отличаются катаные и круглые заготовки от литых заготовок?
234. В результате чего возникают поверхностные дефекты катаных и круглых заготовок?

ЛИТЕРАТУРА

1. Алешин Н.П. Ультразвуковая дефектоскопия: Справочное пособие / Н.П. Алешин, В.Г. Лупачев. – Мн.: Выш. шк., 1987. – 271 с.: ил.
2. Кретов Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении: Справочное пособие. – Санкт–Петербург: Изд. «Радиоавионика», 1995. – 316 с.: ил.
3. Биргер И.А. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.: ил.
4. Выборнов Б.И. Ультразвуковая дефектоскопия. – М.: Metallurgy, 1985. – 256 с.
5. Алешин Н.П. Радиационная, ультразвуковая и магнитная дефектоскопия металлоизделий / Н.П. Алешин, В.Г. Щербинский. – М.: Высшая школа, 1991. – 271 с.
6. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: Справочник. В 2 томах / Под ред. В.А.Клюева. – М.: Машиностроение, 1986. – 488 с.
7. Гурвич А.К. Неразрушающий контроль / А.К. Гурвич, И.Н. Ермолов, С.Г. Сажин. – М.: Высшая школа, 1992, кн.1. – 348 с.

Навчальне видання

Левко Олена Миколаївна

ДІАГНОСТИКА ТА ДЕФЕКТОСКОПІЯ
МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ

Частина 1. Технічна діагностика.
Дефекти металевих матеріалів і виробів

Навчальний посібник
(російською мовою)

Тем. план 2015, поз. 110

Підписано до друку 18.05.2015. Формат 60x84 $\frac{1}{16}$. Папір друк. Друк
плоский.

Облік.-вид. арк. 2,82. Умов. друк. арк. 2,79. Тираж 100 пр. Замовлення № 83.

Національна металургійна академія України
49600, м. Дніпропетровськ-5, пр. Гагаріна,4

Редакційно-видавничий відділ НМетАУ