

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Курганский государственный университет»

Кафедра «Технология и автоматизация сварочного производства»

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания
к выполнению лабораторных работ для магистрантов
направления 15.04.01 «Машиностроение»,
направленности
«Технология, оборудование и компьютерный инжиниринг автоматизированно-
го машиностроения»;
направления 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машино-
строительных производств»,
направленности «Технология машиностроения»

Курган 2018

Кафедра: «Технология и автоматизация сварочного производства».

Дисциплина: «Методы исследования конструкционных материалов» (направлений 15.04.01 «Машиностроение», 15.04.05 «Технология машиностроения»).

Составил: канд. техн. наук, доц. Т. П. Сорогина.

Утверждено на заседании кафедры «19» января 2018 г.

Рекомендовано методическим советом университета «20» декабря 2017 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

«МЕТОД МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК» (8 часов)

1 Цель работы

- 1.1 Изучить методику определения накопления усталостных повреждений.
- 1.2 Получить навыки практического использования метода металлических пленок на сварных соединениях.
- 1.3 Определить накопленное усталостное повреждение и его концентрацию в характерных зонах сварного соединения.
- 1.4 Оценить работоспособность и спрогнозировать место окончательного разрушения сварного соединения.

2 Содержание работы

Для оценки эксплуатационного остаточного ресурса конструкций весьма важным является определение мест наиболее вероятного усталостного разрушения. Применительно к сварным соединениям конструкций такими местами могут служить металл шва (МШ), зона термического влияния (ЗТВ), граница сплавления (ГС) и основной металл (ОМ). В этой связи в данной работе ставится задача оценить фактическое состояние характерных зон сварного соединения по накоплению усталостных повреждений.

Решение этой задачи можно осуществить путем применения без базовых датчиков контроля циклических деформаций. В данной работе для проведения исследований рекомендуется применять алюминиевые датчики, которые позволяют получать информацию о накопленном усталостном повреждении (НУП) в локальных зонах сварных соединений при минимально возможном числе циклов нагружения (N). Методика выполнения эксперимента сводится к следующему.

Под усталостные машины изготавливают образцы с гладкой рабочей частью и возможностью расположения на ней всех характерных зон сварного соединения с целью выявления мест расположения на ней всех характерных зон сварного соединения. Чтобы выявить места расположения таких зон, образцы подвергают химическому травлению 50% раствором HNO_3 в глицерине. На образцы наклеивают датчики таким образом, чтобы они охватывали все зоны сварного соединения.

Усталостные испытания образцов проводят поэтапно, через определенное число N , на каждом уровне действующих напряжений. На каждом этапе испы-

таний с помощью микроскопа типа МБС-9 при 40 кратном увеличении фиксируют критериальные состояния датчиков в зонах МШ, ГС, ЗТВ и ОМ сварного соединения, соответствующие трем стадиям НУП. Одновременно фиксируют числа N , соответствующие достижению этих стадий повреждения.

За критерий наступления в сварном соединении первой стадии НУП служит образование на поверхности датчиков начальных темных пятен с линейными размерами около 0,01 мм. В качестве второй стадии принимают момент начала объединения пятен и приблизительно пятикратное увеличение их размеров. Момент объединения растущих пятен и выстраивание их в виде отдельных волнистых линий служит критерием третьей стадии НУП.

В процессе эксперимента в сварных соединениях сначала выявляют зоны с признаками наибольшего НУП. Критерием оценки такого накопления служит минимальное число N до момента появления на поверхности датчиков самых первых темных пятен. При дальнейшем нагружении образцов в этих же зонах фиксируют три последующие стадии НУП. Затем образцы доводят до излома и определяют в сварном соединении место усталостного разрушения. Результаты таких исследований представляют в виде таблиц.

Обычно даже в стыковых сварных соединениях одни и те же стадии НУП обнаруживаются в их зонах при разном числе N . Это свидетельствует о наличии в сварных соединениях концентрации НУП, которая может быть оценена количественно по формуле:

$$K_N = \frac{N_{OM}}{N_{CC}}, \quad (2.1)$$

где K_N – коэффициент концентрации НУП в сварном соединении;

N_{OM} – число циклов нагружения до обнаружения стадии НУП в основном металле;

N_{CC} – число циклов нагружения до обнаружения такой же стадии в какой-либо зоне сварного соединения.

3 Оборудование и материалы

3.1 Машина усталостного типа МУИ-6000 или МУП-50.

3.2 Образцы сварные.

3.3 Датчики алюминиевые.

3.4 Приспособление для съема информации с датчиков.

3.5 Микроскоп типа МБС-9.

4 Порядок выполнения работы

- 4.1 Изучить метод оценки накопленного усталостного повреждения и его концентрации в локальных зонах сварных соединений.
- 4.2 Описать методику выполнения эксперимента.
- 4.3 Выполнить эксперимент.
- 4.4 Определить значения коэффициентов концентрации повреждений для характерных зон сварных соединений.
- 4.5 Спрогнозировать места наиболее вероятного усталостного разрушения.
- 4.6 Оценить погрешность метода.
- 4.7 Провести анализ полученных результатов.
- 4.8 Сделать выводы по работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

«МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МИКРОАНАЛИЗ» (4 ЧАСОВ)

1 Цель работы

- 1 Изучить методику приготовления макро- и микрошлифов для выявления структуры сварных соединений.
- 2 Изучить структуру отдельных участков сварного соединения при различных методах сварки.

2 Содержание работы

Микроанализ – исследование структуры и дефектов металла с помощью микроскопа (при увеличениях в 50-2000 раз). Наблюдаемая при этом структура называется микроструктурой.

При помощи микроструктуры можно установить:

- 1) форму и размеры кристаллических зерен;
- 2) изменения внутреннего строения сплава, происходящее под влиянием различных режимов термической и химикотермической обработки, а также после внешнего механического воздействия;
- 3) неметаллические включения – сульфиды, оксиды и т. д.;
- 4) дефекты металла – микротрещины, поры и т.п.;

5) химический состав некоторых структурных составляющих по их характерной форме и характерному окрашиванию специальными реактивами и в некоторых случаях приблизительно химсостав изучаемого сплава.

Микроанализ состоит из следующих этапов:

- а) приготовления шлифов;
- б) травление шлифов;
- в) исследование структуры под микроскопом.

Травление производят путем погружения образца в реактив или нанесения реактива (с помощью капельницы или ватки на стеклянной палочке) на поверхность шлифа. Время травления определяется маркой сплава и его структурой. Обычно достаточно выдержка в несколько секунд. После травления микрошлиф промывают водой, спиртом и быстро просушивают с помощью фильтровальной бумаги или ваты. Затем шлиф помещают в сушильный шкаф.

Если после травления структура оказывается недостаточно выявленной (шлиф недотравлен), то производят повторное травление. Если структура получилась излишне темной и плохо различимой (шлиф перетравлен), то необходимо повторное полирование шлифа и новое травление с меньшей выдержкой или более слабым реактивом.

Исследование структуры под микроскопом

Между структурой сварного соединения и многими его свойствами имеется вполне определенная качественная зависимость. В ряде случаев микроанализ позволяет понять и объяснить получающиеся свойства сварного соединения при различных условиях сварки.

Исследование начинается с рассмотрения под микроскопом нетравленного шлифа, т. е. непосредственно после полирования. Под микроскопом наблюдается светлый фон, на котором могут наблюдаться включения различной окраски (неметаллические включения). Затем производится травление шлифа и исследуется структура.

Первоначально знакомятся с общей картиной структурных составляющих в сварном соединении, а также структурой неизменного основного металла. Затем, в зависимости от целей исследования, производится подробное изучение структуры, описание ее, зарисовка или фотографирование.

Исследование микроструктуры сварных соединений имеет ряд особенностей, которые определяются следующими:

- 1) структура сварного соединения отличается мелкостью и разнообразием в пределах одного и того же микрошлифа;

- 2) из-за быстрого остывания соединения в большинстве случаев имеет место неравновесный характер структур (дендритная ликвация и лишние фазы);
- 3) сварка сопровождается дополнительным химическим влиянием (воздух, присадочные материалы, подгорание подкладок, обгорание неплавящихся электродов и т. д.), что может привести к появлению необычных фаз (аустенит, нитриды, включения меди, вольфрамы и др.);
- 4) сварка давлением с нагревом может вызывать механическое разделение тугоплавких и легкоплавких фаз.

Все эти обстоятельства затрудняют исследование структуры сварных соединений и требуют более тщательного проведения анализа.

Структура зоны термического влияния при сварке малоуглеродистых сталей

Основной металл вблизи шва нагревается в процессе сварки до высоких температур. При этом в металле происходят структурные изменения и соответственно меняются его механические свойства. Эта часть основного металла называется зоной термического влияния (ЗТВ).

Структурные изменения различных участков зоны определяются максимальной температурой нагрева данной точки металла, временем выдержки при этой температуре и скоростью охлаждения. Указанные факторы, в свою очередь зависят от материала и размеров конструкции, а также от способа и условий сварки, фактически эти же параметры влияют на размеры ЗТВ.

При сварке малоуглеродистых сталей в ЗТВ различают следующие участки в зависимости от температуры нагрева: неполного расплавления, перегрева, нормализации, неполной кристаллизации, рекристаллизации и синеломкости.

Участок неполного расплавления

Металл участка нагревается до температур начала и конца плавления. Участок является переходным от наплавленного металла к основному и имеет незначительные размеры: состоит из смеси твердой и жидкой фаз с резко намечающейся крупнозернистостью. Фактически под микроскопом наблюдается граница шва (линия оплавления). От особенностей этого участка, где происходит сваривание наплавленного и основного металлов, во многом зависит качество сварного соединения.

Участок перегрева

На этом участке нагрев достигает температуры, близкой к температуре плавления. Поэтому здесь развивается крупное зерно и может наблюдаться структура перегрева. Такая структура способствует снижению пластических свойств металла.

Участок нормализации

Здесь металл нагревается при сварке несколько выше критической точки A_{c3} . При нагреве и охлаждении этого участка будет протекать процесс перекристаллизации, что приведет к измельчению зерен металла. Мелкозернистая структура, как правило, положительно влияет на механические свойства сплава.

Участок неполной перекристаллизации

Температура нагрева этого участка находится от точки A_{c1} до точки A_{c3} . Металл характеризуется почти неизменяющимся ферритным зерном и некоторым дроблением и сфероидизацией перлитных участков.

Механические свойства металла, состоящего из резко различных по размеру зерен, понижены.

Участок рекристаллизации

Появляется при сварке стали подвергавшейся наклепу. При нагреве до температур 450-725°C раздробленные зерна сростаются в более крупные и приобретают равноосную форму.

Участок синеломкости

Этот участок включает металл, нагреваемый до температур 200-500°C. Хотя участок и не имеет структурных отличий от основного металла, его следует различать, так как здесь имеет место понижение пластических свойств, это может способствовать развитию трещин при сварке.

Структура зоны термического влияния при сварке закаливающихся сталей

Участок неполного расплавления характеризуется смешанной структурой, состоящей из частично оплавленных зерен.

Участок полной закалки в свою очередь состоит из двух участков, между которыми нет резкой границы: а) участок перегрева имеет строение перегретой стали. При повышенном содержании углерода наблюдается структура крупноигольчатого мартенсита; б) участок нормальной закалки равнозначен участку нормализации при сварке малоуглеродистых сталей. Имеет структуру мелкоигольчатого мартенсита, который в отдельных случаях с трудом различим под микроскопом. При малой скорости охлаждения и небольшом содержании углерода в структуре наблюдается троостит, а иногда даже сорбит.

Участок неполной закалки – незначительная по размерам зона, в которой сталь приобретает неполную закалку. Имеет структуру мартенсита с сеткой феррита. При малом содержании углерода имеет строение углеродистой стали. Участки закалки (полной и неполной) отличаются хрупкостью и большой твердостью, что затрудняет последующую механическую обработку, если такая необходима, и способствует образованию трещин.

Участок рекристаллизации.

Участок синеломкости.

Структура шва и зоны термического влияния при сварке чугуна

Металл шва при сварке чугуна может быть весьма разнообразным в зависимости от применяемых сварочных материалов. Он может иметь состав чугуна, углеродистой стали, различных цветных сплавов. Выбор того или иного состава металла шва определяется рядом причин, которые рассматриваются в курсах технологии сварки.

Зоны термического влияния при любом способе сварки плавлением (кроме сварки-пайки, с применением относительно легкоплавких цветных сплавов) подобны и различаются только шириной четырех характерных для чугуна участков.

Участок неполного расплавления. При сварке без подогрева скорость охлаждения такого металла ($3\% \text{ C}$; $2,5\% \text{ Si}$) приводит к получению белого чугуна. Вводя в металл шва графитизаторы (C , Si , Al , Ni , Cu , Co), можно усилить процесс, графитизации на первом участке ЗТВ.

Участок аустенита ограничивается температурами от 1160° до 810° C . Быстро охлажденный аустенит этого металла дает в конечном счете структуру

высокоуглеродистого мартенсита большой твердости и весьма склонного к образованию трещин.

Участок перекристаллизации ограничивается диапазоном температур 810-790° С, имеет переходную структуру от второго участка к четвертому.

Четвертый участок характеризуется некоторой дополнительной графитизацией и коагуляцией карбидов по сравнению с исходной структурой и имеет, как правило, хорошие свойства.

Нагрев при сварке ниже 450-500° С не вызывает изменения структуры свариваемого чугуна.

3 Оборудование и материалы

- 1 Темплеты сварных соединений для макро- и микроанализа.
- 2 Реактивы и ванночки для травления, вата, спирт.
- 3 Биноклярный микроскоп х 70, микроскоп МИМ-7.

4 Порядок выполнения работы и содержание работы

В данной работе студенты проводят металлографические исследования сварных соединений, полученных различными способами сварки.

При проведении исследования сначала необходимо изучить структуру основного металла, а затем уже приступить к изучению структур шва и зоны термического влияния.

Получив от преподавателя набор шлифов, каждый студент обязан проделать следующее:

- 1) приготовить макро- и микрошлифы;
- 2) выбрать реактивы и произвести травление шлифа;
- 3) изучить микроструктуру основного металла, шва зоны термического влияния, дать зарисовку структуры и сделать ее описание, дать эскиз размещения найденных участков ЗТВ в сварном соединении;
- 4) составить письменный отчет о работе, в котором привести весь материал по исследованию, сделать выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

«МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ. МАКРОАНАЛИЗ» (4 ЧАСА)

1 Цель работы

- 1 Изучить методику приготовления макро- и микрошлифов для выявления структуры сварных соединений.
- 2 Изучить структуру отдельных участков сварного соединения при различных методах сварки.

2 Содержание работы

При сварке методами плавления сварной шов образуется из электродного и присадочного металла, а также за счет расплавления основного металла. Следовательно, химический состав шва будет определяться составом наплавленного электродного (присадочного) и расплавленного основного металла. При этом химический состав отдельных участков шва, расположенных на различных расстояниях от линии сплавления, может отличаться.

В свою очередь, химический состав шва оказывает влияние на характер структур, а также на механические и другие свойства наплавленного металла. Но структура и свойства шва зависят во многом и от его скорости охлаждения. Изменение скоростей охлаждения может достигаться за счет изменения погонной энергии сварки или путем предварительного подогрева и охлаждения свариваемых планок. Меняется скорость охлаждения и при сварке различными способами. Вместе с тем меняется структура шва и его свойства.

При сварке плавлением сварной шов имеет литую структуру с ярко выраженным столбчатым строением. В центре и у поверхности шва зерна имеют равноосную форму. Столбчатые кристаллиты состоят из отдельных групп дендритов.

Назначение и проведение макроанализа

При макроанализе производится исследование строения металла (макроструктуры) невооруженным глазом или через лупу при небольших увеличениях (x 30).

Макроструктурный метод исследования сварных соединений разделяют на два вида:

- 1) изучение макрошлифов;
- 2) изучение изломов.

Исследование макрошлифов заключается в следующем:

- а) приготовление шлифов;
- б) травление шлифов;
- в) изучение (просмотр) структуры и дефектов макрошлифов.

Часто на этих шлифах производится замер твердости различных участков сварного соединения.

Макроанализ позволяет определить в металле сварного соединения величину, форму и расположение зерен, дендритность или волокнистость строения, различные дефекты: трещины, газовые поры, шлаковые включения и т. д., параметры шва и зоны термического влияния.

Исследование макрошлифов

Исследование макрошлифа начинается еще до травления, когда в первом приближении можно отметить все особенности и некоторые дефекты сварного соединения. Затем производят травление образца раствором азотной кислоты для получения общей картины.

Макроструктура шва при сварке плавлением до некоторой степени похожа на структуру отливки в изложницу. Структура шва крупно-зернистая литая. Каждый наплавленный валик (как бы отдельный слиток) состоит из столбчатых кристаллов, которые растут перпендикулярно линии сплавления. В центре и у поверхности шва зерна имеют равноосную форму. Структура однослойных швов всегда бывает значительно более мелкозернистой, чем структура стального литья.

После травления азотной кислотой, места на шлифе, имеющие темный цвет, указывают на повышенное содержание углерода (и примесей) или на закалку. Места очень светлого цвета указывают обычно на обезуглероживание.

Зона термического влияния лучше протравливается у сталей с большим содержанием углерода.

Наружная часть зоны имеет мелкое зерно. У линии сплавления, где основной металл нагревается до максимальной температуры близкой к температуре плавления, зерно наиболее крупное. Размеры зоны термического влияния зависят от свойств основного металла (химсостав, структура, первоначальная температура) и от местного тепловложения в шов, т. е. от способа и режима сварки.

По макроструктуре можно определить глубину и форму провара, ширину и очертания зоны термического влияния. На макрошлифе производится замер

основных параметров шва и зоны термического влияния. Макрошлиф позволяет подвергнуть тщательному изучению макродефекты шва. При изучении обращается внимание на форму, размеры и расположение дефектов, а также выясняются причины их образования.

Фотографирование макрошлифов производится при небольших увеличениях сразу же после травления, чтобы поверхность шлифа не успела окислиться.

Макроисследование изломов

Макроисследование изломов производится невооруженным глазом или с помощью лупы в следующих случаях:

- а) при предварительных опытах для разработки новой технологии сварки;
- б) при механических испытаниях сварных соединений с целью оценки поведения металла при разрушении;
- в) при аварийных изломах сварных деталей.

Излом при исследовании должен быть чистым и неповрежденным (лучше, если он будет свежим). Исследоваться должны обе стороны излома одновременно.

Излом позволяет установить:

- а) наличие внутренних дефектов;
- б) величину и ориентировку зерна;
- в) характер разрушения металла (хрупкое или вязкое);
- г) место и направление излома и т.д.

В сварных соединениях излом может идти по критическому сечению шва или по шву со смещением к одной из кромок детали, а иногда с вырывом основного металла.

Излом может быть хрупким (кристаллическим, зернистым), или вязким (волокнистым). Хрупкий излом происходит без значительной предварительной пластической деформации. По нему легко изучать строение металла (форму и размер зерна). Хрупкий кристаллический излом бывает межкристаллическим (интеркристаллическим) и транскристаллическим.

Вязкому волокнистому излому предшествует пластическая деформация металла, которая искажает действительную форму и размер зерна. На свежем изломе хорошо наблюдаются слоистость, столбчатость, зоны крупного и мелкого зерна, а также различные дефекты: трещины, непровары, включения и т. п.

3 Оборудование и материалы

- 1 Темплеты сварных соединений для макро- и микронализа.
- 2 Реактивы и ванночки для травления, вата, спирт.
- 3 Биноккулярный микроскоп х 70, микроскоп МИМ-7.

4 Порядок выполнения работы и содержание работы

В данной работе студенты проводят металлографические исследования сварных соединений, полученных различными способами сварки.

При проведении исследования сначала необходимо изучить структуру основного металла, а затем уже приступить к изучению структур шва и зоны термического влияния.

Получив от преподавателя набор шлифов, каждый студент обязан проделать следующее:

- 1) приготовить макро- и микрошлифы;
- 2) выбрать реактивы и произвести травление шлифа;
- 3) просмотреть макрошлиф и дать его эскиз, измерить параметры шва и зоны термического влияния, отметить дефекты шва и особенности, измерить твердость и построить графики;
- 4) составить письменный отчет о работе, в котором привести весь материал по исследованию, сделать выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

«ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ» (8 часов)

1 Цель работы

- 1.1 Ознакомиться с методиками испытаний механических свойств металла.
- 1.2 Изучить основные формулы по расчету механических свойств металла.

2 Содержание работы

Все свойства металлов делятся на четыре группы:

- физические – цвет, плотность, температура плавления, тип кристаллической решетки, полиморфизм (аллотропия), электро- и теплопроводность, магнетизм и т. п.;

- химические – окисляемость, растворимость, коррозионная стойкость и т. п.;
- технологические (характеризуют обрабатываемость металла) – свариваемость, штампуемость, жидкотекучесть, усадка, обрабатываемость резанием и т. п.;
- механические (определяют поведение металла под нагрузкой) – прочность, пластичность, твердость, упругость, жесткость, вязкость.

Методы испытания механических свойств металлов в зависимости от характера действия нагрузки делятся на три группы:

- статические (нагрузка возрастает медленно (плавно));
- динамические (нагрузка возрастает с большой скоростью (мгновенно), например при ударе);
- циклические при повторно-переменных нагрузках (нагрузка многократно изменяется по величине и знаку (испытания на усталость)).

2.1 Механические свойства металлов при статическом нагружении

В результате механических испытаний определяют следующие характеристики металлов: прочность, пластичность, твердость, упругость, жесткость и др.

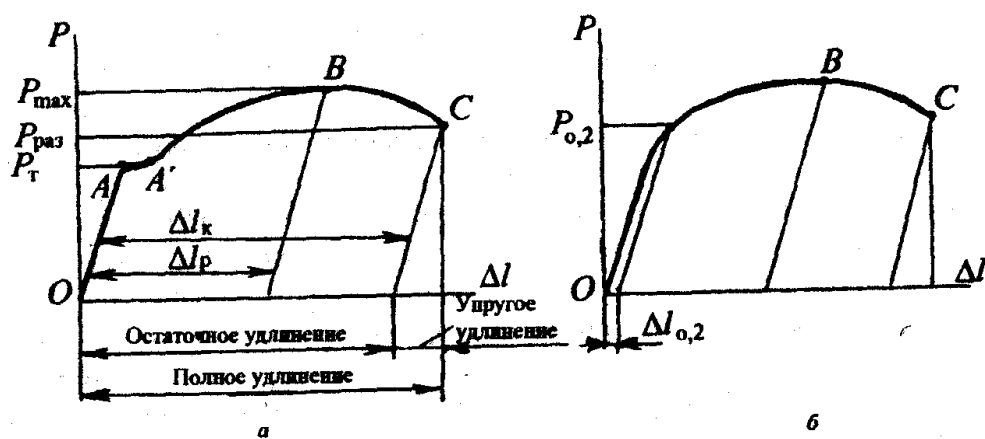
Прочность – свойство металла сопротивляться пластической деформации и разрушению под действием внешних сил. В зависимости от способа статического нагружения различают прочность при растяжении, сжатии, изгибе.

2.2 Испытания металла на растяжение

Для испытания применяют специальные цилиндрические или плоские образцы. Расчетную длину образца принимают равной десяти- или пятикратному его диаметру. Образец закрепляют в испытательной машине и нагружают. По результатам испытаний вычерчивают диаграмму растяжения.

На диаграмме растяжения пластичных металлов (рисунок 1) можно выделить три участка: ОА – прямолинейный, соответствующий упругой деформации; АВ – криволинейный, соответствующий упругопластической деформации при возрастании нагрузки; ВС – соответствующий упругопластической деформации при снижении нагрузки. В точке С происходит разрушение образца с разделением его на две части.

От точки О (начальная деформация) до точки А образец деформируется пропорционально приложенной нагрузке, поэтому участок ОА – прямая линия.



а – с площадкой текучести; б – без площадки текучести
 Рисунок 1 – Диаграмма растяжения пластических металлов

Максимальное напряжение, не превышающее предела пропорциональности, практически вызывает только упругую деформацию, поэтому его часто называют пределом упругости.

При испытании пластических металлов на кривой растяжения образуется площадка AA' (рисунок 1, а). В этом случае напряжение, соответствующее площадке текучести, называют физическим пределом текучести σ_T .

Физический предел текучести σ_T – это наименьшее напряжение, при котором металл деформируется (течет) без заметного изменения нагрузки.

Напряжение, вызывающее остаточную деформацию, равную 0,2% от первоначальной длины образца, называют условным пределом текучести и обозначают $\sigma_{0,2}$.

Участок A'B соответствует дальнейшему повышению нагрузки и более значительной пластической деформации во всем объеме металла образца. Напряжение в точке В, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца, называют временным сопротивлением, или пределом прочности при растяжении σ_B . Эта характеристика статической прочности определяется по формуле, МПа, МН/м² (кгс/мм²):

$$\sigma_B = P_{\max} / F_0 \quad (1)$$

где P_{\max} – наибольшая нагрузка (напряжение), Н (кгс);

F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, м² (мм²).

У пластичных металлов деформация, начинается с напряжением σ_B , сосредотачивается (локализуется) в одном участке образца, где появляется сужение, так называемая шейка. В результате развития скользя в шейке образуется множество вакансий и дислокаций, возникают зародышевые несплошности, ук-

рупнение которых приводит к возникновению пор. Сливаясь, поры образуют трещину, которая распространяется в поперечном направлении растяжению, и образец разрушается (точка С). Кривая растяжения образца без площадки текучести приведена на рисунке 1,б.

2.3 Пластичность металлов

Пластичность – свойство металла пластически деформироваться, не разрушаясь под действием внешних сил. Это одно из важных механических свойств металла, которое в сочетании с высокой прочностью делает его основным конструкционным материалом. Для определения пластичности образцы и оборудование не требуются. Показатели (характеристики) пластичности – относительные удлинения δ (дельта) и сужение ψ (пси).

Относительным удлинением δ называется отношение абсолютного удлинения, т. е. приращение расчетной длины образца после разрыва ($l_k - l_0$), к его первоначальной расчетной длине l_0 , мм, выраженное в процентах:

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} * 100\%, \quad (2)$$

где l_k – длина образца после разрыва, мм.

Относительным сужением ψ называется отношение абсолютного сужения, т. е. уменьшение площади поперечного сечения образца после разрыва ($F_0 - F_k$), к первоначальной площади его поперечного сечения F_0 мм², выраженное в процентах:

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0}, \quad (3)$$

где F_k – площадь поперечного сечения образца после разрыва, мм².

2.4 Твердость металлов

Твердость – свойство металла сопротивляться внедрению в него другого более твердого тела. Для определения твердости не требуется изготовление специальных образцов, испытания проводятся без разрушения металла.

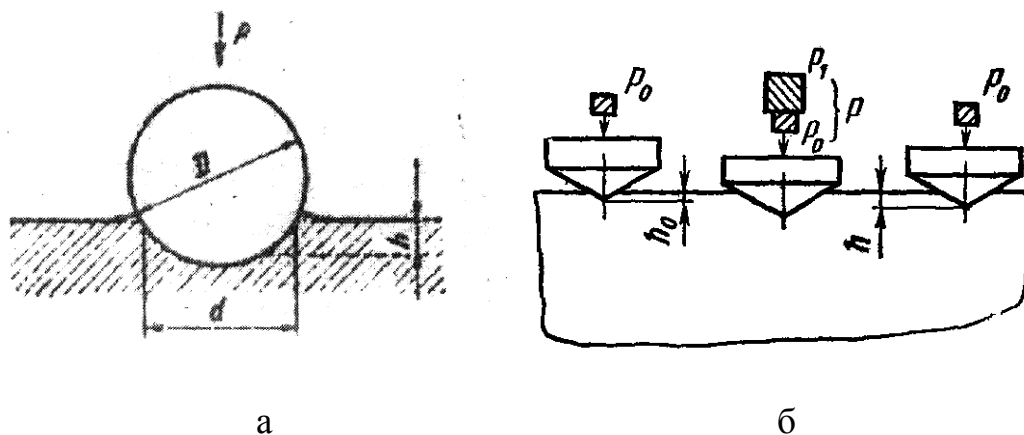
Твердость металла определяют прямыми и косвенными методами: вдавливанием, царапанием, упругой отдачей, магнитным.

При прямых методах в металл вдавливают твердый наконечник (индентор) различной формы (шарик, конус, пирамида) из закаленной стали, алмаза

или твердого сплава. После снятия нагрузки на индентор в металле остается отпечаток, который и характеризует твердость.

Метод Бринелля. В плоскую поверхность металла вдавливается стальной закаленный шарик диаметра 10 мм (рисунок 2, а). После снятия нагрузки в металле остается отпечаток (лунка). Диаметр отпечатка d измеряют специальным микроскопом с точностью 0,05 мм. На практике пользуются специальной таблицей, в которой диаметру отпечатка d соответствует определенное число твердости НВ.

Диаметр шарика D и нагрузку P устанавливают в зависимости от твердости и толщины испытуемого металла. Например, для стали и чугуна нагрузка $P=3000$ кг; $D=10$ мм. Твердость технически чистого железа по Бринеллю равна 80-90 единиц.



а – по Бринеллю; б – по Роквеллу

Рисунок 2 – Схема испытания твердости

Метод Бринелля не рекомендуется применять для металлов с твердостью более 450 НВ, так как шарик может деформироваться и в результате получится искаженный результат. Этот метод используется в основном для измерения твердости заготовок и полуфабрикатов из неупрочненного металла.

Метод Роквелла. Твердость определяют по глубине отпечатка. Индентором служит стальной закаленный шарик диаметра 1,58 мм для мягких металлов или алмазный конус с углом при вершине 120° для твердых и сверхтвердых (более HRC 70) металлов (рисунок 2,б).

Шарик и конус вдавливаются в металл под действием двух нагрузок – предварительной и основной. Общая нагрузка равна их сумме. Предварительная нагрузка принимается одинаковой для всех металлов (10 кг). Перед началом испытания большая стрелка твердомера выставляется на «0» шкалы индикато-

ра, и затем включается основная нагрузка – большая стрелка перемещается по шкале индикатора и показывает значение твердости.

При вдавливании стального шарика нагрузка составляет 100 кг, отсчет твердости производится по внутренней (красной) шкале индикатора, твердость обозначают HRB. При вдавливании алмазного конуса твердость определяется по показанию стрелки по внешней (черной) шкале индикатора. Для твердых металлов основная нагрузка составляет 150 кг. Это основной метод измерения твердости закаленных сталей. Обозначение твердости – HRC.

Для очень твердых, а также тонких материалов нагрузка принимается равной 60 кг. Обозначение твердости – HRA.

Метод определения твердости по Роквеллу позволяет испытывать мягкие и твердые металлы, при этом отпечатки от шарика или конуса очень малы, поэтому этим методом можно измерять твердость и готовых деталей. Поверхность для испытания должна быть шлифованной. Измерения выполняются быстро (в течении 30-60 с), не требуется никаких вычислений, так как значение твердости снимается по шкале индикатора твердомера.

Метод Виккерса. В испытываемую поверхность (шлифованную или полированную) вдавливаются четырехгранная алмазная пирамида под нагрузкой 5, 10, 20, 30, 50 или 100 кг. В металле остается квадратный отпечаток. Специальным микроскопом твердомера измеряют диагональ отпечатка.

Зная нагрузку на пирамиду и диагональ отпечатка, по таблицам определяют твердость металла HV.

Метод универсальный, его можно использовать для определения твердости деталей малой толщины и тонких поверхностных слоев большой твердости (после азотирования, нитроциментации и т. п.).

Чем тоньше металл, тем меньше должна быть нагрузка на пирамиду, однако при большой нагрузке результат получается точнее.

2.5 Прочность металлов при динамическом нагружении (испытания на ударную вязкость – на удар)

Для того, чтобы определить поведение металла при ударных нагрузках и одновременно оценить его склонность к хрупкому разрушению, проводят испытания на ударный изгиб. И в результате определяют ударную вязкость – характеристику из динамической прочности.

Для определения ударной вязкости применяют образцы (размером 10 x 10 x 55 мм) с U- или Y- образным надрезом. Надрез является местом будущего разрушения. Испытания проводят на маятниковом копре (рисунок 3). Маятник, падая с определенной высоты, разрушает образец, при этом определяется рабо-

та удара в мегаджоулях (МДж), джоулях (Дж) или в килограмм-секундах на метр (кгс · м), затраченная на излом образца.

Ударная вязкость обозначается КС (старое обозначение – α_H), МДж/м² ($\alpha_H=1 \text{ кгс}\cdot\text{м}/\text{см}^2 = 0,1 \text{ Дж}/\text{м}^2$), и подсчитывается как отношение работы К к площади поперечного сечения образца в месте надреза F:

$$КС(\alpha_H) = \frac{K}{F}. \quad (4)$$

Если в испытаниях берется образец с U-образным надрезом, то в обозначение вязкости добавляется буква U (КСU), а если с Y-образным – буква Y (КСY).

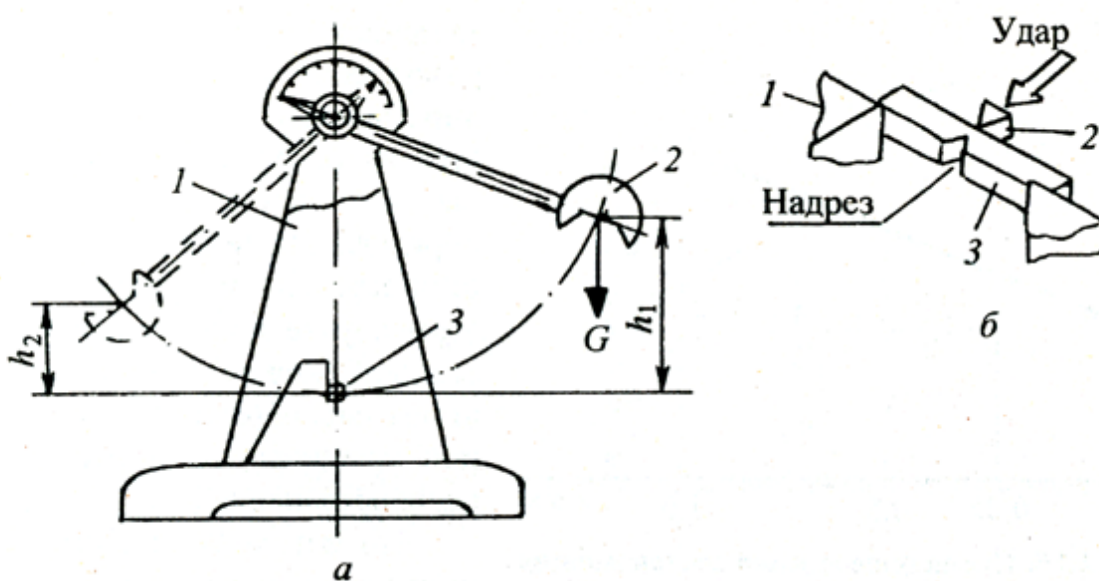


Рисунок 3 – Схема испытаний на ударную вязкость

Определение ударной вязкости является наиболее простым и чувствительным способом оценки склонности металлов, имеющих объемно центрированную кубическую решетку, к хрупкости при работе в условиях низких температур, называемой хладноломкостью.

Практически хладноломкостью определяют при испытании на удар серии образцов при нескольких понижающихся значениях температуры (от комнатной до -100°C).

Результаты испытаний наносят на график в координатах «ударная вязкость – температура испытания». Температура, при которой происходит падение ударной вязкости (металл переходит от вязкого разрушения к хрупкому), называется критической температурой хрупкости, или порогом хладноломкости.

2.6 Прочность металлов при циклическом нагружении (испытания на усталость)

Многие детали (валы, рессоры, рельсы) в процессе работы подвергаются повторно-переменным нагрузкам. Разрушение таких деталей при напряжении, значительно меньше временного сопротивления. Процесс постепенного накопления напряжения в металле при действии циклических нагрузок, приводящий к образованию трещин и разрушению, называется усталостью. Усталость металла – это процесс зарождения и развития трещины под действием многократно повторяющихся циклических нагрузок. Свойство металла выдерживать большое число циклов переменных напряжений, т. е. противостоять усталости, называется выносливостью, или циклической (усталостной) прочностью.

Усталостная прочность – способность металла сопротивляться упругой и пластической деформации при переменных нагрузках, она характеризуется наибольшим напряжением, которое выдерживает металл при бесконечно большом числе циклов нагружения, т. е. не разрушается. Такое напряжение называется пределом усталости, или пределом выносливости σ_{-1} . Например, для углеродистой конструкционной стали $\sigma_{-1}=(0,4-0,5) \sigma_B$.

Значение предела выносливости зависит от целого ряда факторов: степени загрязненности металла неметаллическими включениями: макро- и микроструктуры металла; состояние поверхности, формы и размеров детали и др.

Разрушение металлов при усталости отличается от разрушения при однократных нагрузках особым видом излома. При знакопеременной нагрузке происходит постепенное накопление напряжения, обусловленного движением дислокаций. Поверхность детали, как наиболее нагруженная часть, претерпевает микродеформацию, и в наклепанной (упрочненной деформацией) зоне возникают микротрещины. Из множества микротрещин развитие получает только та, которая имеет наиболее острую вершину и пропорционально расположена по отношению к действующим напряжениям.

Пораженная трещиной часть сечения детали не несет нагрузки, и нагрузка перераспределяется на оставшуюся часть, которая непрерывно уменьшается до тех пор, пока не произойдет мгновенного разрушения. Таким образом, для усталостного излома (рисунок 4) характерно (как минимум) наличие зоны прогрессивно растущей трещины 1 и зоны долома 2.

Важной характеристикой конструктивной прочности, характеризующей надежность металла, является живучесть при циклическом нагружении. Живучесть – это способность металла работать в поврежденном состоянии после образования трещины, она изменяется числом циклов до разрушения или скоростью развития трещины усталости (СРТУ) при данном напряжении.

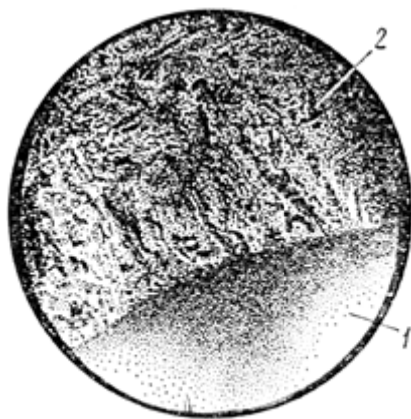


Рисунок 4 – Излом усталости

Живучесть металла является самостоятельным свойством, которое не зависит от других свойств металла, и имеет важное значение для оценки работоспособности деталей, целостность которых контролируется различными методами дефектоскопии. Чем меньше СРТУ, тем легче обнаружить трещину.

Для повышения усталостной прочности деталей желательно в поверхностных слоях металла создавать напряжение сжатия методами поверхностного упрочнения (механическими, химико-термическими).

3 Оборудование и материалы

3.1 Твердомеры.

3.2 Микротвердомеры.

4 Порядок выполнения работы

4.1 Изучить основные методы механических испытаний металлов на прочность (статическую и динамическую), пластичность и твердость.

4.2 Провести исследования по определению твердости на образцах среднеуглеродистой конструкционной стали по методу Бринелля или Роквелла (по выбору).

4.3 По полученным значениям твердости определить (рассчитать) статическую прочность, пластичность и предел выносливости металла, указать его марку.

5 Содержание отчета

5.1 Краткое описание методики испытаний механических свойств металла.

5.2 Основные формулы по расчету механических свойств металла.

5.3 Расчеты значений твердости σ_B , $\sigma_{y,\delta}$ и марки стали, ориентировочно выбранная по полученным данным.

5.4 Заполненная таблица с результатами исследований механических свойств испытуемых образцов.

Таблица – Механические свойства испытуемых образцов δ , %

Образец	Значение твердости					σ_B , %
	HB	HRC	HRB	HRA	HV	
1						
2						

6 Вопросы для самоконтроля

1 Какие свойства металла относятся к физическим, химическим, технологическим? Приведите примеры.

2 Какие свойства металла относятся к механическим? Дайте определение основных механических свойств.

3 Как проводят испытания по определению предела прочности металла на растяжение?

4 Как проводят испытания по определению ударной вязкости металла?

5 Какие методы испытаний по определению твердости металла известны?

6 Что понимают под усталостью металла и как ее определяют?

7 Какие методы определения твердости рекомендованы для очень твердых и мягких материалов?

8 Пластичность металла, ее характеристики и их определение.

Сорогина Татьяна Петровна

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания
к выполнению лабораторных работ для магистрантов
направления 15.04.01 «Машиностроение»,
направленности
«Технология, оборудование и компьютерный инжиниринг автоматизированно-
го машиностроения»;
направления 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машино-
строительных производств»,
направленности «Технология машиностроения»

Редактор Н. Н. Погребняк

Подписано в печать 28.01.19	Формат 60x84	Бумага тип №1
Печать цифровая	Усл.п.л. 1,5	Уч.-изд.л. 1,5
Заказ №32	Тираж 10	Не для продажи

Библиотечно-издательский центр КГУ.
640020, г. Курган, ул. Советская, 63/4.
Курганский государственный университет.