

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА «ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ»

**ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВАРНОГО
СОЕДИНЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ,
ХИМИЧЕСКОГО И МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗОВ**

Методические указания к практическим занятиям



Волгоград
2014

УДК 621.79(075)

Рецензент
Е. Ю. Карпова

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Оценка механических характеристик сварного соединения по результатам измерения твердости, химического и металлографического анализов : метод. указания к практическим занятиям / сост. : О. П. Бондарева, И. Л. Гоник ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – 8 с.

Предназначены для студентов очной, очно-заочной, заочной форм обучения, изучающих дисциплину «Основы сварочного производства».

© Волгоградский государственный
технический университет, 2014

Учебное издание

Составители :

Ольга Петровна **Бондарева**
Игорь Леонидович **Гоник**

ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВАРНОГО
СОЕДИНЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ,
ХИМИЧЕСКОГО И МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗОВ

Методические указания к практическим занятиям

Темплан 2014 г. (учебно-методическая литература). Поз. № 28.
Подписано в печать 30.12.2014. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 0,47.

Тираж 10 экз. Заказ .

Волгоградский государственный технический университет.
400005, г. Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28, корп. 1.
Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ.
400005, г. Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28, корп. 7.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Оценка механических характеристик сталей и сварных соединений производится с целью определения их фактического состояния и соответствия его нормативным требованиям. Определяют следующие основные механические характеристики [1]:

Твердость – это свойство материала сопротивляться внедрению в него другого не получающего остаточных деформаций тела. Наиболее распространенными методами замера твердости являются следующие методы:

- Виккерса – HV (ГОСТ 2999), основанный на вдавливании в поверхность металла алмазного индентора в форме четырехгранной пирамиды с углом при вершине $\approx 136^{\circ}$;

- Бринелля (ГОСТ 9012), основанный на вдавливании в металл стального шарика определенного диаметра;

- Роквелла (ГОСТ 9013), основанный на использовании в качестве индентора алмазного конуса с углом при вершине 120° и радиусом закругления 0,2 мм или стального шарика диаметром 1,5875 мм.

Выбор метода определения твердости зависит от различных факторов: твердости материала, размеров и формы образца (заготовки), толщины измеряемого слоя. Значения твердости, полученные различными методами, связаны между собой и с некоторым приближением могут быть переведены друг в друга [1]. При определении твердости структурных составляющих структуры (зерна в околошовной зоне, неметаллических включений и т.д.) пользуются измерением микротвердости.

Предел прочности (σ_b , МПа) – напряжение разрушения образца при одноосном растяжении, определяемое как отношение нагрузки, при которой происходит разрушение, к начальной площади поперечного сечения рабочей части образца.

Предел текучести ($\sigma_{0,2}$, МПа) – напряжение, при котором остаточная деформация в образце (остаточное удлинение) достигает 0,2 %. Определя-

ется как отношение нагрузки на образец при одноосном растяжении, вызывающей деформацию 0,2 %, к начальной площади поперечного сечения в рабочей части образца.

Прочностные характеристики металлов и сварных соединений определяют по результатам статических испытаний на растяжение (ГОСТ 1497 для основного металла и ГОСТ 6996 для сварных соединений). С достаточной степенью достоверности для определения прочностных характеристик можно использовать корреляционные соотношения между ними и результатами замеров твердости, которые приводятся в ГОСТ 22761. В работе [2] для косвенного определения прочностных характеристик приведены и использованы следующие соотношения:

$$\begin{aligned}HV &= 3,16 \sigma_{B,}, \\HV &= 3,62 \sigma_{0,2}, \\ \sigma_B &= 0,32 HB + 50, \\ \sigma_B &= 0,325 HB^{0,989}, \\ \sigma_B &= 0,35 HB \\ \sigma_B &= 0,362 HB .\end{aligned}$$

Сопоставление расчетных и экспериментально полученных характеристик на реальных сварных конструкциях показало, что различия показателей, не превышает 10 % [1]. Таким образом, указанные соотношения с определенной степенью достоверности можно использовать для оценки фактического состояния металла, когда единственно доступным к измерению показателем является твердость.

Предел текучести для стальных конструкций, изготовленных из низкоуглеродистых и низколегированных сталей (кроме сталей с карбонитридным упрочнением) с пределом текучести от 200 до 450 МПа может быть рассчитан по результатам химического и количественного металлографического анализов. Согласно РД 03-380 -00 можно использовать формулу

$$\sigma_{0,2} = (\sigma_0^2 + \sigma_{\Pi}^2)^{1/2} + (\Delta\sigma_{\text{т.р}}^2 + \Delta\sigma_{\text{д}}^2)^{1/2} + K_y d^{-1/2},$$

где $\sigma_0 = 30$ МПа – напряжения трения решетки α -Fe; $\sigma_{\Pi} = 2,4$ П, МПа – составляющая напряжения за счет упрочнения стали перлитом; Π – процент перлитной составляющей в структуре; $\Delta\sigma_{\text{т.р}}$ – составляющая напряжения, полученная за счет упрочнения твердого раствора легирующими элементами, устанавливаемая по величине их концентрации (C_i), вес. %, в α -Fe (феррите).

$$\Delta\sigma_{\text{т.р}} = 4670 C_{\text{C+N}} + 33 C_{\text{Mn}} + 86 C_{\text{Si}} + 31 C_{\text{Cr}} + 30 C_{\text{Ni}} + 11 C_{\text{Mo}} + 60 C_{\text{Al}} + 39 C_{\text{Cu}} + 690 C_{\text{Cr}} + 3 C_{\text{V}} + 82 C_{\text{Ti}}, \text{ МПа};$$

$\Delta\sigma_{\text{д}}$ – составляющая напряжения, полученная за счет упрочнения дислокациями, оцениваемая по плотности дислокаций (ρ), МПа:

$$\Delta\sigma_{\text{д}} = 5Gbp^{1/2}.$$

Для горячекатаных и нормализованных сталей допускается принимать $\Delta\sigma_{\text{д}} = 30$ МПа, d – средний условный диаметр зерна феррита, определяемый по ГОСТ 5639; K_y – коэффициент упрочнения, равный для низколегированной стали $20 \text{ МПа} \cdot \text{мм}^{1/2}$, b – вектор Бюргерса, G – модуль сдвига.

Большинство конструкций нефтегазового комплекса работает в условиях циклических нагрузок, и в результате чего происходит до 80 % всех эксплуатационных разрушений. Процесс постепенного накопления повреждений в материале под действием циклических нагрузок, приводящий к изменению его свойств, образованию трещин и разрушений, называется *усталостью*. Свойство противостоять усталости называется *выносливостью*.

Предел выносливости σ_{-1} , МПа – основная характеристика усталостной прочности материала. Это наибольшее значение максимального напряжения цикла, которое выдерживает металл без разрушения при повто-

рении заданного числа циклов нагружения. Оценка предела выносливости производится по ГОСТ 25.502 и ГОСТ 25.504.

По данным [4], для установления связи пределов прочности и текучести с пределом выносливости материала предлагается целый ряд зависимостей:

$$\begin{aligned}\sigma_{-1} &= 0,47\sigma_B, \\ \sigma_{-1} &= 0,35\sigma_B + 122; \\ \sigma_{-1} &= 0,25 (\sigma_B + \sigma_{0,2}).\end{aligned}$$

Сопоставление расчетных и экспериментальных данных показало их удовлетворительную сходимость.

Характеристики пластичности при растяжении. В качестве основных характеристик пластичности используют: относительное удлинение и относительное сужение (ГОСТ 1497).

Относительное удлинение δ , %, характеризует увеличение длины образца в результате деформации при растяжении и для расчета относительного удлинения конструкционных углеродистых и легированных сталей может быть предложено следующее выражение [4]:

$$\delta = 420 \cdot 100 \% / 2\sigma + \sigma_{0,2} .$$

Относительное сужение ψ , %, характеризует предельную способность материала к пластическому деформированию до разрыва и может быть определено для углеродистых сталей , в зависимости от их предварительной термической обработки, по следующим зависимостям:

$$\Psi = 105 - 0,0186 \text{ НВ для сталей в состоянии закалки с отпуском};$$

$$\Psi = 85,6 - 0,0134 \text{ НВ для нормализованных сталей};$$

$$\Psi = 105 - 0,0316 \text{ НВ для сталей после отжига}.$$

Характеристики пластичности связаны с прочностными свойствами материала. При достаточно высоких значениях δ и ψ , характерных для сталей нефтегазового сортамента (δ не менее 16- 25 %, ψ не менее 50 %),

прочность обычно тем меньше, чем выше пластичность. В зависимости от величины удлинения меняется разница между пределами текучести и прочности. Установлено, что важной характеристикой материала является отношение $\sigma_{0,2}/\sigma_B$. Например, согласно СНиП 2.05.06 - 08, регламентирующему свойства сталей для изготовления магистральных трубопроводов, это отличие должно составлять: для углеродистых сталей не более 0,75, для низколегированных нормализованных сталей 0,8, для дисперсионно- твердеющих нормализованных и термически упрочненных сталей 0,85 и для сталей контролируемой прокатки, включая сталь с бейнитной структурой 0,9.

Относительное удлинение металла труб на пятикратных образцах должно быть не менее: 20 % для труб с временным сопротивлением до 588,4 МПа; 18 % для труб с временным сопротивлением до 637,4 МПа и 16 % для труб с временным сопротивлением 686,5 МПа.

Ударная вязкость – один из показателей сопротивления металла разрушению, определяемый при динамических испытаниях на ударный изгиб. Призматические образцы с концентратором (надрезом) посередине разрушаются одним ударом маятникового копра, наносимого со стороны, противоположной надрезу. Испытания на ударный изгиб проводят согласно ГОСТ 9454 для основного металла и ГОСТ 6996 – для сварных соединений. В зависимости от цели испытаний надрез в образце располагают по основному металлу, металлу шва или околошовной зоне. Ударная вязкость для конструкционных углеродистых и низколегированных сталей со средним размером зерна может быть ориентировочно определена по следующей формуле [5]:

$$KCU = 27,2 - 52,8 (H_{0,2}/HB) + 25,6(H_{0,2}/HB)^2,$$

где $H_{0,2}$ – твердость, при которой в лунке возникает деформация, равная 0,2 %. Эта величина, согласно [1], связана с условным пределом текучести соотношением

$$H_{0,2} = 20\sigma_{0,2}^{1/1,37} = 20(0,367HB - 240)^{1/1,37} .$$

Порядок выполнения практического задания

1. Получить от преподавателя задание, содержащее данные о химическом составе свариваемой стали [6] и экспериментальные значения замеров твердости, пределов прочности и пределов текучести элементов обвязки компрессорной станции. Сравнить полученные значения экспериментальных и расчетных значений прочностных характеристик между собой и данными ГОСТ 22761.

Список использованной литературы

1. Л.А. Ефименко. Металловедение и термическая обработка сварных соединений. Учебное пособие. / Ефименко Л.А., Прыгаев А.К., Елагина – М.: Логос, 2007, - 456с.

2. Л.И. Тушинский. Методы исследования материалов/ Тушинский Л.И., А.В. Плохов, А.О. Токарев и др. – М.: Мир, 2004. - 161 с.

3. Оценка фактических параметров металла технических объектов нефтегазового комплекса/ Л.А. Ефименко, О.К. Коновалова, В.П. Камардинин и др. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 1999.- №4 – С. 35-36.

4. А.В. Шишкин. Электротехническое материаловедение: Учебное пособие./ Шишкин А.В. – Новосибирск: Из- во НГТУ, 1997, - 45с.

5. М.П. Марковец. Определение механических свойств металлов по твердости./ Марковец М.П. – М.: Машиностроение, 1989. – 334 с.

6. Марочник сталей и сплавов /под ред. Зубченко А.С. – М.: Машиностроение, 2001. - 672 с.