



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Машины и автоматизация сварочного  
производства»

## **Практикум**

по дисциплине

«Диагностика и контроль качества сварных  
соединений»

# **«Оценка показателей прочности сварных соединений»**



Автор  
Коробцов А.С.

Ростов-на-Дону, 2017

## Аннотация

Практикум предназначен для студентов направления 15.03.01 «Машиностроение», профиль «Оборудование и технология сварочного производства».

Перечислены основные этапы жизненного цикла сварочной продукции, на которых проводится оценка показателей механической прочности, и рассмотрены цели этой оценки.

Представлены размеры цилиндрических образцов, предназначенных для количественной оценки показателей прочности различных зон сварного соединения. Показана диаграмма зависимости напряжения в сечении образца в зависимости от деформации удлинения, позволяющая проанализировать зависимость «напряжения – деформация» в областях упругих и пластических деформаций.

Приведены формулы для количественной оценки показателей механической прочности: предела текучести металла, предела прочности, относительного удлинения и поперечного сужения, а также представлен порядок выполнения лабораторной работы.

## Автор

д.т.н., профессор кафедры «МиАСП» Коробцов А.С.



## Оглавление

1. Механические испытания .....	4
2. Испытания на растяжение.....	5
3. Показатели прочности сварных соединений .....	8
4. Порядок проведения лабораторной работы .....	10
Список литературы.....	11

## 1. Механические испытания

Оценка показателей прочности сварных соединений применяется для оценки соответствия установленным требованиям данного показателя качества сварочной продукции и проводится при *механических испытаниях*.

К данной группе методов контроля качества с разрушением относятся также металлографические исследования, химический анализ и коррозионные испытания.

Следует отметить, что при механических испытаниях оценка показателей качества проводится для основного металла, сварного шва и металла зоны термического влияния сварочной продукции. Это связано с тем, что под влиянием термических и деформационных процессов при сварке свойства основного металла могут претерпевать существенные изменения, в результате чего сварное соединение, как правило, имеет структурную, химическую и механическую неоднородность. Металл шва может отличаться от основного металла по химическому составу, может иметь крупнозернистую структуру, что влияет на механические характеристики продукции.

Неоднородность сварных соединений зависит от принятых проектных и технологических решений, от соблюдения технологических рекомендаций, качества сварочных материалов, стабильности работы сварочного оборудования и квалификации сварщиков. Именно по этим причинам механические испытания проводят на различных этапах проектирования и изготовления сварных конструкций.

На *этапе проектирования* механические испытания проводят с целью определения расчетных характеристик сварных соединений, на основании которых конструктор может принять решения, обеспечивающие эксплуатацию конструкции без разрушения.

*Перед началом производства* проверяют принятые технологические решения, качество сварочных материалов, работу сварочного оборудования, квалификацию сварщиков. При изготовлении ответственных сварных конструкций перед началом работ сварщик должен выполнить допускной стык, по результатам испытания которого решается вопрос о допуске этого сварщика к выполнению работ.

На *стадии изготовления* механические испытания проводят с целью подтверждения стабильности технологического процесса. Поскольку механические испытания сопровождаются разрушени-

ем сварного соединения, то на данном этапе, обычно, для испытаний изготавливают *образцы свидетели*, технология изготовления которых полностью повторяет реальную технологию.

Для того, чтобы получать идентичные результаты, процедуры механических испытаний устанавливаются национальными или международными стандартами. Например, ГОСТ 6996 – «Соединения сварные. Методы определения механических свойств».

## 2. Испытания на растяжение

Стандартами предусмотрено несколько типов образцов для оценки показателей прочности сварных соединений при испытании на растяжение. Для определения механических характеристик наплавленного металла или металла шва применяют цилиндрические образцы, отличающиеся диаметром рабочей части и формой головной части для закрепления образцы в испытательной машине. Например, на рис.1 представлены размеры малого гагаринского образца.

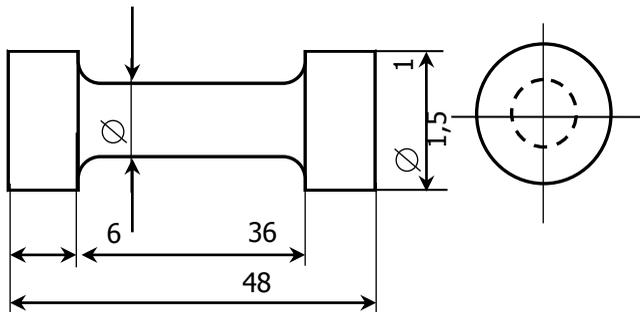


Рис.1. Размеры малого гагаринского образца

Образец закрепляется в испытательной машине и подвергается статическому растяжению. На рис.2 показана диаграмма зависимости напряжения в сечении образца в зависимости от деформации удлинения.

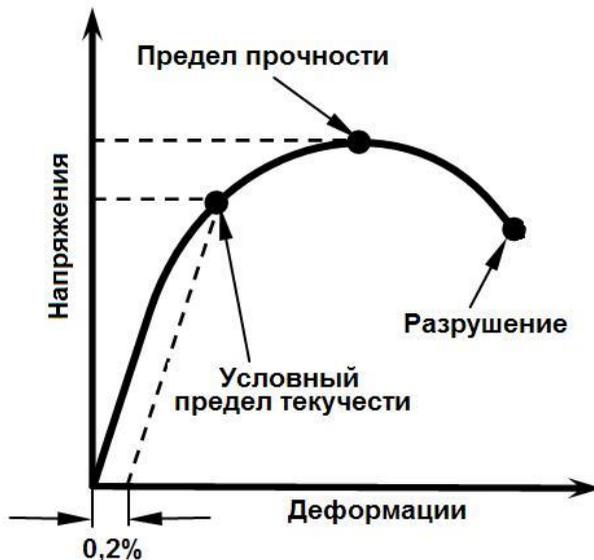


Рис. 2. Диаграмма деформирования образца при растяжении

Можно заметить, что на начальном этапе нагружения наблюдается линейная зависимость между напряжениями и деформацией металла образца. Это область упругих деформаций. Затем, после достижения некоторого уровня напряжений, начинают развиваться пластические деформации и зависимость «напряжения – деформация» приобретает нелинейный характер. Увеличение нагрузки, требуемой для дальнейшего растяжения образца, определяется двумя факторами. Для продолжения деформирования требуется преодолеть деформационное упрочнение металла, но вместе с тем наблюдается уменьшение сопротивления деформированию связанное с уменьшением сечения образца вследствие его пластического сокращения в поперечном направлении. Момент достижения равновесия между этими двумя тенденциями приводит к образованию пластической неустойчивости (точка максимума на кривой). До этой точки по всей длине образца деформации распределялись равномерно. В дальнейшем, происходит образование шейки образца, где сосредоточено развитие пластических деформаций вплоть до наступления разрушения. Напряжения в точке достижения максимума нагрузки получили название «предел прочности» металла или «временное

сопротивление».

На рис. 3 показан цилиндрический образец и изменение его размеров и формы в процессе нагружения до разрушения.

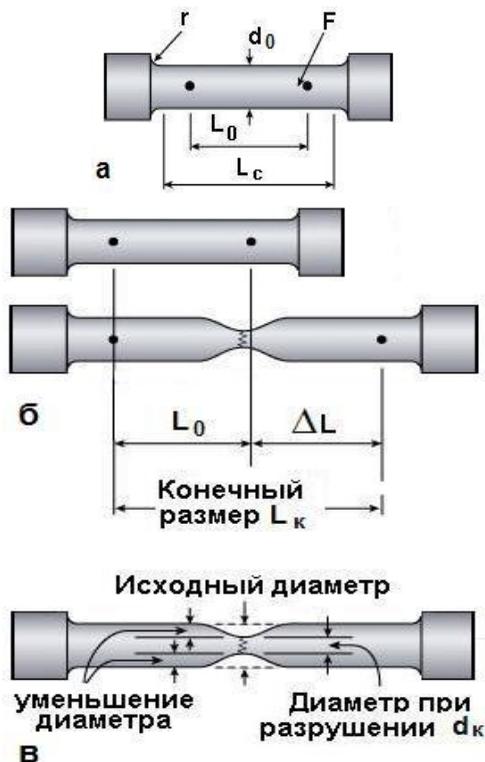


Рис. 3. Изменение размеров цилиндрического образца при его нагружении  
до разрушения (а,б,в – исходные и конечные размеры образца)

Для современных конструкционных материалов переход от участка упругих деформаций к началу развития пластических деформаций происходит плавно (без образования площадки текучести).

Поэтому для таких материалов вводится понятие «условный предел текучести». Он соответствует той точке на диаграмме деформирования, в которой величина пластической деформации составляет заданную величину, например 0,2%. Величина условного предела текучести обозначается как  $\sigma_{02}$ , где 02 обозначает

величину пластической (остаточной после разгрузки) деформации.

### 3. Показатели прочности сварных соединений

По результатам механических испытаний определяют следующие показатели прочности сварных соединений:

**Предел текучести** металла: 
$$\sigma_{02} = \frac{P_{02}}{F_0} = \frac{4P_{02}}{\pi d_0^2}$$

**Предел прочности:**

$$\sigma_{\sigma} = \frac{P_{\max}}{F_0} = \frac{4P_{\max}}{\pi d_0^2}$$

**Относительное удлинение:**

$$\delta = \frac{L_{\kappa} - L_0}{L_0} 100\%$$

**Поперечное сужение:**

$$\psi = \frac{F_{\kappa} - F_0}{F_0} 100\% = \frac{d_{\kappa}^2 - d_0^2}{d_0^2} 100\%;$$

где: -  $P_{02}$ ;  $P_{\max}$  - значения силы, соответствующие моменту остаточной деформации 0,2% и максимальной нагрузке;

-  $F_{\kappa}$  и  $F_0$  - соответственно площадь поперечного сечения образца после разрушения и исходная площадь;

-  $d_{\kappa}$  и  $d_0$  - соответственно диаметр образца в зоне разрушения и его исходное значение,

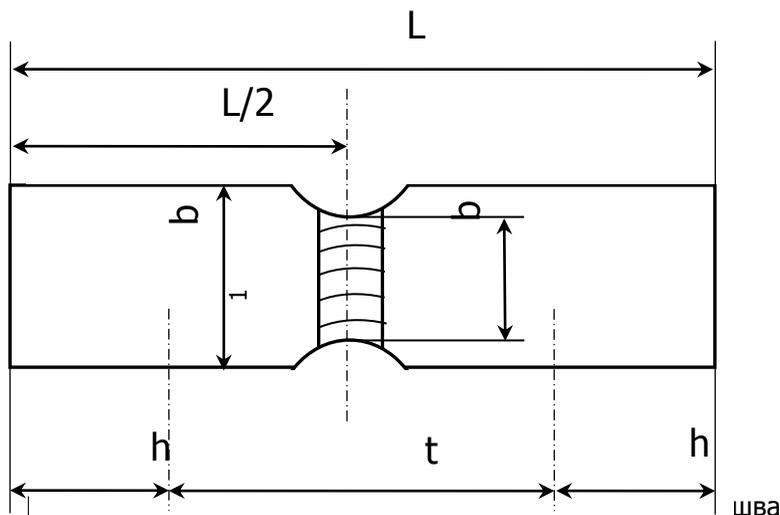
-  $L_{\kappa}$  и  $L_0$  - соответственно длина рабочей зоны образца после разрушения и исходный размер.

Вследствие того, что при сварке происходит перемешивание основного и электродного материалов свойства металла шва могут отличаться от свойств наплавляемого металла. Поэтому при подготовке образцов для испытания следует выполнять определенные требования. Если требуется определить механические характеристики наплавленного металла, то для изготовления образцов электродный материал наплавляют на пластину или в медную форму. Затем из наплавленного металла изготавливают

цилиндрический образец. Чтобы исключить влияние перемешивания металла количество наплавленных слоев должно быть не менее 5 – 10, но не менее 10 мм. Металл, из которого изготавливают образец, должен располагаться выше этих слоев или наплавку металла ведут в медную форму. Диаметр образца выбирают в соответствии с ГОСТ 6996, но его головка должна быть не менее 5 мм. Поэтому толщина шва сварного соединения не должна быть меньше 6 мм.

Предел прочности сварного соединения зависит от наиболее слабого участка и характеризует прочность соединения в целом. При оценке результатов испытаний большое внимание уделяют месту разрушения образца (по металлу шва, по металлу околошовной зоны, по основному металлу), так как оно позволяет судить о том, достигнута ли равнопрочность основному металлу. Для многих конструкционных материалов условие обеспечения равнопрочности и разрушения сварного соединения в стороне от шва и околошовной зоны является обязательным при отработке технологии сварки.

Для определения *абсолютного значения предела прочности* используется образец со снятым усилением и со специальной выточкой шва, предопределяющей место разрушения (рис.4).



При многопроходной сварке прочность соединения различных участков по толщине может быть неодинаковой. Поэтому в тех случаях, когда невозможно выполнить испытание полноразмерно-

го образца из сварных соединений большой толщины, вырезают образцы меньших размеров из разных участков соединения по толщине и по ним определяют механическую прочность.

#### 4. Порядок проведения лабораторной работы

1. Перечислить различные этапы проектирования и изготовления сварных конструкций, на которых требуется проведение механических испытаний.
2. Представить в отчете форму и размеры малого цилиндрического образца.
3. Рассмотреть диаграмму зависимости напряжения в сечении образца в зависимости от деформации удлинения, области линейных и пластических деформаций.
4. Закрепить цилиндрический образец в захватах испытательной машины.
5. Подвергнуть испытательный образец статическому растяжению до полного разрушения.
6. Зафиксировать в отчетах величину максимальной нагрузки и значение нагрузки при начале пластических деформаций цилиндрического образца.
7. Вытащить разрушенный образец из захватов испытательной машины.
8. Измерить и записать следующие размеры образца: диаметр образца при разрушении, длину рабочей зоны образца после испытания.
9. Рассчитать по соответствующим формулам следующие показатели механической прочности материала:

- предел прочности;
- предел текучести;
- относительное удлинение;
- поперечное сужение

### **Список литературы**

Коробцов А.С., Фомин В.Н. Система обеспечения качества в сварочном производстве. – Изд-во ДГТУ, 2013.- 276 с.