**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Факультет: «Машиностроительные технологии и оборудование»

Кафедра: «Машины и автоматизация сварочных процессов»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

К выполнению контрольной работы №1 на тему: **«Графо – аналитический метод расчета структуры зоны термического влияния сварных соединений углеродистых и низколегированных сталей»** по дисциплине «Теоретические основы образования неразъёмный соединений»

Ростов – на – Дону – 2021 г.

Составитель: проф., Д.Т.Н. Полетаев Ю.В., Щепкин В.В.

Методические указания к контрольной работе №1 на тему: «Графо – аналитический метод расчета структуры зоны термического влияния сварных соединений углеродистых и низколегированных сталей» по дисциплине: «Теоретические основы образования неразъёмный соединений»/ Донской государственный технический университет, Ростов – на – Дону, 2021.

© Полетаев Ю.В.,2021

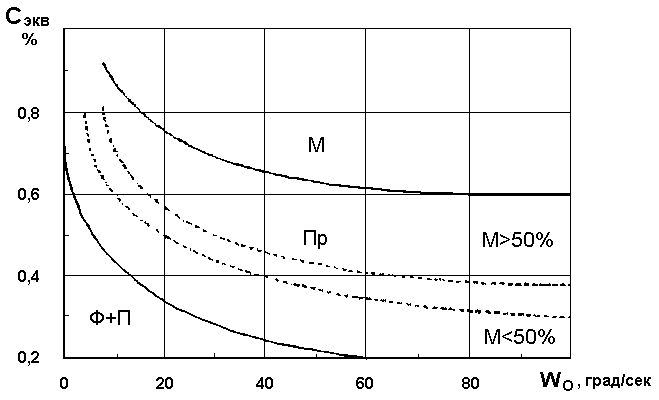
© ДГТУ, 2021

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1

Высокие скорости охлаждения (W0) при сварке способствуют появлению в зоне термического влияния (ЗТВ) сварных соединений углеродистых и низколегированных сталей неравновесных закалочных структур. При формировании мартенситных и мартенситно-бейнитных структур возрастает опасность появления холодных трещин. Низкой вязкостью обладают и участки крупнозернистого перлита и верхнего бейнита, образующиеся при малых скоростях охлаждения. Наилучшим сочетанием свойств при отсутствии склонности к трещинам обладают структуры нижнего бейнита. Поэтому оптимальные скорости охлаждения лежат в интервале значений, приводящих к получению этого типа структур. Получение оптимальных структур и свойств достигается подбором термического режима сварки за счет введения подогрева и (или) изменения погонной энергии сварочного источника.

Для ориентировочной оценки структуры и свойств ЗТВ удобно использовать универсальную структурную диаграмму, показанную на рис.1.

**Рисунок 1.Структурная диаграмма для зоны термического влияния углеродистых и низколегированных сталей**



На диаграмме выделены три структурные области: ферритно-перлитная Ф+П, область промежуточного превращения Пр (феррит + перлит + бейнит + мартенсит) и мартенситная М. Вся область Пр разделена на два участка: М<50% и М>50%.

**1. Цель и задачи работы.**

Целью работы является закрепление и углубление знаний студента по влиянию условий охлаждения на распад аустенита в ЗТВ сварного соединения.

При выполнении работы предусматривается решение следующих задач:

1. Изучение универсальной структурной диаграммы для ЗТВ углеродистых и низколегированных сталей.

2. Анализ влияния величины скорости охлаждения на конечную структуру металла ЗТВ сварного соединения.

3. Оценка влияния термического режима сварки на структуру и свойства металла ЗТВ.

**2. Объем и содержание работы.**

Работа выполняется в виде расчетно-пояснительной записки объемом 2-4 листа, формата А4, содержащей: краткую характеристику анализируемой стали (химический состав, назначение, область применения и условия работы, и т.п.), формулы и результаты расчетов; структурную диаграмму с нанесенными расчетными точками; кривые влияния Wо на структуру металла ЗТВ; выводы и предложения; список литературы.

**3. Последовательность выполнения работы.**

Номер варианта индивидуального задания (Таблицы №1 и 2) совпадает с порядковым номером студента по списку группы. На первом этапе по химическому составу заданной марки стали рассчитывается эквивалентное содержание углерода Сэкв по формуле:



Далее, с помощью структурной диаграммы, с учетом рассчитанной величины Сэкв и заданного допустимого количества мартенсита, графически определяется допустимая величина скорости охлаждения Wод при температуре наименьшей устойчивости аустенита Т=600..500°C. Используя структурную диаграмму и данные таблицы 1 и 2, вычерчивается в полулогарифмических координатах зависимость структуры металла ЗТВ от скорости охлаждения W0 по типу, показанному на рис.2.

Таблица №1.

Содержание индивидуального задания к работе №1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вариа нта | Марка стали | Химический состав, % | | | | | | | | | | | Допустимое количество мартенсита, %, по условию: | |
|  |  | С | Si | Mn | Сr | | Ni | Mo | S | Р | | Прочие | сохранение уд. вязкости | трещино-стойкости |
| 1 | 40Х | 0,41 | 0,25 | 0,71 | 1,06 | | 0,22 | 0,02  i | 0,024 | 0,031 | | 0,17Cu | — | 55\*\* |
| 2 | 23Г | 0,23 | 0,3 | 1,64 | 0,14 | | 0,20 | 0,03 | 0,025 | | 0,026 | — | — | 45 |
| 3 | 40ХГСА | 0,42 | 1,25 | 1,08 | 1,34 | | 0,33 | — | 0,012 | | 0,015 | — | — | 40\* |
| 4 | ВСт.5сп | 0,35 | 0,24 | 0,83 | — | | — | — | 0,04 | | 0,034 | 0,024N2 0,045О2 | 35 | — |
| 5 | 45 | 0,50 | 0,26 | 0,58 | 0,16 | 0,18 | | — | 0,021 | | 0,018 | — | — | 30 |
| 6 | 10Г2Д | 0,09 | 0,33 | 1,28 | — | — | | — | 0,031 | | 0,023 | 0,04Nb | 10 | — |
| 7 | 35ХГСА | 0,38 | 1,32 | 0,99 | 1,16 | 0,16 | | — | 0,022 | | 0,020 | — | — | 70\*\* |
| 8 | 20НГМ | 0,25 | 0,31 | 1,04 | 0,17 | 0,72 | | 0,25 | 0,026 | | 0,022 | — | 90 | — |
| 9 | 08ХГСНД | 0,08 | 0,97 | 0,65 | 0,82 | 0,45 | | — | 0,014 | | 0,003 | — | 20 | — |
| 10 | 20ХГС | 0,24 | 0,99 | 0,83 | 0,93 | 0,17 | | — | 0,019 | | 0,025 | — | — | 35 |
| 11 | 35 | 0,39 | 0,32 | 0,69 | 0,22 | 0,13 | | — | 0,017 | | 0,021 | — | 30 | — |
| 12 | 12ХГСМФ | 0,13 | 0,95 | 0,72 | 0,87 | — | | 0,62 | 0,015 | | 0,022 | — | 20 | — |
| 13 | 45ХМА | 0,46 | 0,29 | 0,60 | 0,93 | 0,30 | | 0,35 | 0,012 | | 0,016 | — | — | 90\* |
| 14 | 12ХН2 | 0,17 | 0,28 | 0,55 | 1,02 | 1,64 | | — | 0,022 | | 0,026 | V<0,01 | — | 75 |
| 15 | 30ХГСА | 0,30 | 1,12 | 0,93 | 1,03 | 0,28 | | — | 0,017 | | 0,021 | 0,14Cu | — | 20\*\* |

Продолжение таблицы №1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 16 | 18Г2АФпс | 0,19 | 0,11 | | | 1,5 | — | | — | — | | 0,029 | | 0,011 | 0,10V; 0,021N2 | 30 | | — |
| 17 | 12МХ | 0,13 | 0,26 | | | 0,55 | 0,52 | | — | 0,50 | | — | | — | — | 50 | | — |
| 18 | 35ХВФА | 0,38 | 0,36 | | | 0,60 | 1,16 | | 0,19 | — | | 0,030 | | 0,024 | 0,4W; 0,12V | — | | 45 |
| 19 | 35XM | 0,36 | 0,23 | | | 0,54 | 1,03 | | 0,15 | 0,60 | 0,03 | | | 0,02 | — | 40 | | — |
| 20 | 35ХМФА | 0,36 | 0,31 | | | 0,51 | 1,13 | | 0,22 | 0,30 | | 0,030 | | 0,024 | 0,11V | — | | 60 |
| 21 | 20Х2МФ | 0,22 | 0,15 | | | 0,37 | 2,02 | | 0,23 | 0,31 | | 0,031 | | 0,025 | 0,51W; 0,57V | — | | 20\* |
| 22 | 16Х2,5МВФ | 0,16 | 0,13 | | | 0,32 | 2,70 | | 0,19 | 0,47 | | 0,027 | | 0,018 | 0,60W; 0,60V | —  10 | 10 | |
| 23 | 10ХГ2Н | 0,10 | 0,33 | | | 1,60 | 0,28 | | 1,08 | — | | 0,027 | | 0,026 | 0,07Cu | 90 | | — |
| 24 | 17ХГ2САФР | 0,16 | 0,52 | | | 1,45 | 0,81 | | — | — | 0,024 | | | 0,016 | 0,11V; 0,003B | 5 | | — |
| 25 | 12ХГНМ | 0,10 | 0,27 | | 0,74 | | 0,61 | 0,56 | | — | 0,011 | | 0,017 | | — | 30 | | — |
| 26 | 15ХГНМ | 0,16 | 0,37 | | 1,12 | | 0,86 | 0,79 | | — | 0,018 | | 0,020 | | — | 20 | | — |
| 27 | 30Г2Л | 0,29 | 0,28 | | 1,48 | | — | — | | — | 0,04 | | | 0,04 | — | 20 | | — |
| 28 | 30ХМА | 0,30 | 0,22 | | 0,64 | | 1,01 | 0,11 | | 0,24 | 0,012 | | 0,011 | | 0,19Cu | 15 | | — |
| 29 | 25H3 | 0,30 | | 0,32 | 0,51 | | 0,07 | 3,03 | | — | 0,007 | | 0,011 | | — | — | | 85 |
| 30 | 20ХГСА | 0,22 | | 1,12 | 0,91 | | 0,87 | | 0,21 | — | 0,017 | | 0,023 | | 0,15Cu | — | | 30 |

\* При условии сопутствующего подогрева не ниже 250°С;

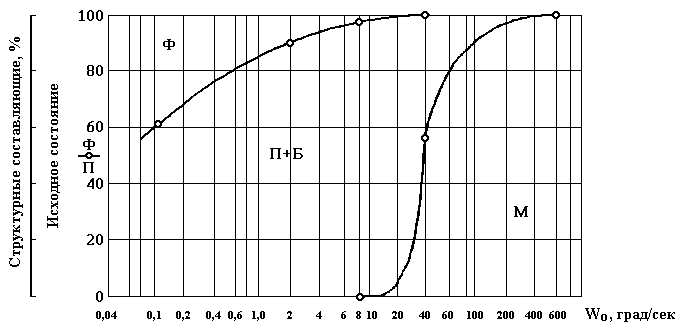
\*\* При условии сопутствующего подогрева не ниже 100°С.

Таблица №2.

Структура сталей

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № варианта | Марка стали | Структурные составляющие | | Критическая скорость охлаждения  Wk  град/сек |
| Исходное состояние, % | Промежуточного превращения при охлаждении |
| 1 | 40Х | 90П+10Ф | Ф+(П+Б)+М | 50-60 |
| 2 | 23Г | 55П+45Ф | Ф+(Б+П)+М | 80-100 |
| 3 | 40ХГСА | 90П+10Ф | Ф+(П+Б)+М | 40-50 |
| 4 | ВСт.5сп | 40П+60Ф | Ф+(П+Б)+М | 400-500 |
| 5  6  7  К | 45 | 75П+25Ф | Ф+(П+Б)+М | 100-500 |
| 6 | 10Г2Б | 10П+90Ф | Ф+П+(Б+М) | 100-150 |
| 7 | 35ХГСА | 80П+20Ф | Ф+(П+Б)+М | 500-600 |
| 8 | 20НГМ | 80П-20Ф | Ф+(Б+П)+М | 60 |
| 9 | 08ХГСНД | 35П+65Ф | Ф+(П+Б)+М | 70-80 |
| 10 | 20ХГС | 82П+18Ф | Ф+(П+Б)+М | 400-500 |
| 11 | 35 | 45П+55Ф | Ф+(П+Б)+М | 100 |
| 12 | 12ХГСМФ | 22П+78Ф | Ф+(П+Б)+М | 100-150 |
| 13 | 45ХМА | 85П+15Ф | Ф+(П+Б)+М | 100-200 |
| 14 | 12XH2 | 70П+30Ф | Ф+(П+Б)+М | 30-40 |
| 15 | 30ХГСА | 88П+12Ф | Ф+(Б+П)+М | 80-100 |
| 16 | 18Г2АФпс | 40П+60Ф | Ф+(П+Б)+М | 60-80 |
| 17 | 12MX | 35П+65Ф | Ф+(П+Б)+М | 150-200 |
| 18 | 35ХВФА  35ХВФА | 65П+35Ф | Ф+(Б+П)+М | 200 |
| 19 | 35ХМ | 80Б+20Ф | Ф+Б+М | 150 |
| 20  2Г ' ""1 | 35ХМФА | 70П+30Ф | Ф+(Б+П)+M | 60-80 |
| 21 | 20Х2МФ | 75Б+25Ф | Ф+Б+М | 40-50 |
| 22 | 16Х2,5МВФ | 70Б+30Ф | Ф+Б+М | 60 |
| 23 | 10ХГ2Н | 40П+60Ф | Ф+(П+Б)+М | 250 |
| 24 | 17ХГ2САФР | 60П+40Ф | Ф+(П+Б)+М | 200 |
| 25 | 12ХГНМ | 55П+45Ф | Ф+(П+Б)+М | 400-500 |
| 26 | 15XГНM | 80П+20Ф | Ф+(П+Б)+М | 200-400 |
| 27 | 30Г2Л | 75П+25Ф | Ф+(П+Б)+М | 200-300 |
| 28 | 30ХМА | 85П+15Ф | Ф+(Б+П)+М | 100-120 |
| 29 | 25Н3 | 55П+45Ф | Ф+(П+Б)+М | 150-250 |
| 30 | 20ХГСА | 85П+15Ф | Ф+(П+Б)+М | 100 |

**Рисунок 2.Влияние скорости охлаждения на структуру ЗТВ стали МСт.5Гпс (Сэкв=0,453)**



Выполняется краткий анализ влияния величины скорости охлаждения на структуру и свойства металла ЗТВ в широком диапазоне W0.

Используя формулу Н.Н. Рыкалина, устанавливающую связь основного параметра режима скорости охлаждения W0=Wод металла ЗТВ при температуре Т наименьшей устойчивости аустенита с погонной энергией дуги (для случая сварки листов в стык в один проход), рассчитывается величина погонной энергии:

,

где: q/Vсв = ηUI/Vсв – погонная энергия дуги, Вт⋅сек/см;

λ=(0,38-0,42) – коэффициент теплопроводности, Вт/(см⋅град);

Сγ = (4,1-4,5) – объемная теплоемкость, Дж/(см3⋅град);

То - температура подогрева при сварке, град. (при отсутствии подогрева То = 20 °С);

δ - толщина свариваемых листов, см (для каждого варианта δ равна номеру варианта,

например, вариант №14 означает δ=14 см);

W0 - скорость охлаждения, град/сек.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Гуляев А.П. Металловедение. - М.: Металлургия, 1986, 542 с.

2. Никифоров В.Н. Технология металлов и конструкционные материалы. -М.: Высшая школа, 1968, 360 с.

3. Лебедев Б. Д. Диаграмма для определения структуры околошовной зоны углеродистых и низколегированных сталей. - Сварочное производство, 1974,№7,с.55-56.

4. Фазовые превращения и изменения свойств стали при сварке. Атлас /Шоршоров М.Х., Белов В.В. - М.: Наука, 1972. 219 с.

5. Электродуговая сварка сталей. Справочник/Каховский Н.И., Фартушный В.Г., Ющенко К.А. - Киев.: Наукова думка, 1975, 480 с.

6. Металлография железа. Справочник. Пер. с нем. /Лямбер Н., Греди Т., Харбакен Л. и др. - М.: Металлургия, 1985, 248 с.

7. Сварка в машиностроении. Справочник. В 4-х т. /Редкол.: Николаев Г.А. и др. - М.: Машиностроение, 1978 - т. 2 /Под ред. Акулова А.И. 1978, 462 с.

8. Ворновицкий И.Н. Электроды для сварки оборудования тепловых электростанций. - М.: Энергомашиздат, 1983, 96 с.

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что такое «ЗОНА ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ»?
2. Основные закономерности превращения «аустенит – мартенсит», «аустенит – перлит», «аустенит – бейнит»?
3. Механизм образования холодных трещин?
4. Основные причины образования холодных трещин?
5. Классификация и маркировка углеродистых и низколегированных сталей?
6. Свариваемость углеродистых сталей? Влияние углерода на свариваемость; технологические трудности сварки?
7. Свариваемость низколегированных сталей.
8. Влияние легирующих элементов на свариваемость сталей?
9. Влияние основных параметров термического цикла сварки на структурно – фазовый состав металла ЗТВ?
10. Технологические способы повышения стойкости сварных соединений против образования холодных трещин?