

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

ТЕОРИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

*Методические рекомендации к самостоятельной работе для
студентов специальности
1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства»
заочной формы обучения*



Могилев 2023

УДК 621.9.07
ББК 30.606
Т79

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Оборудование и технология сварочного производства»
«12» января 2023 г., протокол № 8

Составитель канд. техн. наук, доц. А. Г. Лупачев

Рецензент канд. техн. наук, доц. М. Н. Миронова

Методические рекомендации к самостоятельной работе для студентов
специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства»
заочной формы обучения.

Учебно-методическое издание

ТЕОРИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

Ответственный за выпуск	А. О. Коротеев
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	М. М. Дударева

Подписано в печать 10.03.2023 .Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 0,47. Уч.-изд. л. 0,50 . Тираж 26 экз. Заказ № 295.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2023

Содержание

Введение	4
1 Общие сведения.....	5
2 Индивидуальное задание.....	6
3 Методические указания по выполнению самостоятельной работы.....	6
3.1 Расчет ширины зоны нагрева при действии мощного быстро- движущегося источника на поверхности полубесконечного тела.....	6
3.2 Расчет ширины зоны нагрева при действии линейного источника в пластине	7
4 Пример выполнения индивидуального задания.....	8
4.1 Расчет ширины зоны нагрева участка синеломкости при действии линейного источника в пластине.....	8
Список литературы	8

Введение

Целью самостоятельной работы является расчет протяженности отдельных участков зоны термического влияния (ЗТВ).

Для выполнения работы следует знать:

- расчетную схему источника нагрева;
- расчетную схему свариваемого тела;
- структурный класс стали;
- теплофизические коэффициенты;
- режимы сварки.

Для выполнения работы следует уметь:

- находить необходимую для расчета информацию;
- пользоваться справочной литературой.

1 Общие сведения

Идеальной целью сварки является получение такого сварного соединения, которое было бы равноценно соединяемому (основному) металлу по всем показателям. На практике этот идеал не достигнут. Подавляющее число разрушений сварных конструкций начинается в сварных соединениях. Основными причинами таких разрушений являются деградация металла шва и околошовной зоны, сварочные деформации и напряжения, возникающие под тепловым воздействием термического цикла сварки.

Реализация большинства сварочных процессов связана с нагревом материала свариваемых деталей при использовании сварочных источников теплоты различных видов, а эффективность того или иного сварочного процесса определяется условиями нагрева и охлаждения основного и присадочного металлов. Характер протекания тепловых процессов определяет производительность плавления основного и присадочного металлов, направление и полноту протекания металлургических процессов в сварочной ванне, условия формирования структуры металла шва и зоны термического влияния. Условия нагрева и охлаждения во многом определяют характер и уровень остаточных напряжений, протяженность отдельных участков зоны термического влияния. Поэтому в инженерной практике часто возникает необходимость расчетного определения размеров зон нагрева. Наряду с современными численными методами проведения подобных расчетов, широко используются упрощенные аналитические подходы, лежащие в основе классической теории распространения теплоты при сварке, которые позволяют оперативно получать численные оценки необходимых характеристик сварочного процесса с приемлемой для практических целей точностью.

Сварные соединения, выполненные сваркой плавлением можно разделить на несколько зон, отличающихся макро- и микроструктурой, химическим составом, механическими свойствами и другими признаками: сварной шов, зону сплавления, зону термического влияния и основной металл.

Сварной шов характеризуется литой макроструктурой металла. Ему присуща первичная микроструктура кристаллизации.

Зона сплавления – это зона сварного соединения, где происходит сплавление наплавленного и основного металла.

Зона термического влияния – участок основного металла, примыкающий к сварному шву, в пределах которого вследствие теплового воздействия сварочного источника нагрева протекают фазовые и структурные превращения в твердом металле. В результате этого зона термического влияния имеет отличные от основного металла величину зерна и вторичную микроструктуру. ЗТВ состоит из характерных участков: участок интенсивного роста зерна, участок полной перекристаллизации, участок неполной перекристаллизации, участок рекристаллизации. Протяженность этих участков влияет на работоспособность сварного соединения в целом.

2 Индивидуальное задание

В самостоятельной работе необходимо определить протяженность отдельных участков ЗТВ в зависимости от режимов сварки, расчетной схемы источника нагрева, расчетной схемы свариваемого тела.

Исходные данные приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета при действии мощного быстродвижущегося источника на поверхности полубесконечного тела

Показатель	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сила сварочного тока, А	300	400	500	600	700	800	900	950	850	750
Напряжение дуги, В	26	27	28	29	32	33	34	36	33	32
Скорость сварки, см/с	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	0,8
Эффективный КПД дуги	0,80	0,85	0,78	0,82	0,92	0,90	0,92	0,93	0,90	0,92

Таблица 2 – Исходные данные для расчета при действии линейного источника в пластине

Показатель	Вариант									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Сила сварочного тока, А	300	400	500	600	700	800	900	950	850	750
Напряжение дуги, В	26	27	28	29	32	33	34	36	33	32
Скорость сварки, см/с	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	0,8
Эффективный КПД дуги	0,80	0,85	0,78	0,82	0,92	0,90	0,92	0,93	0,90	0,92
Толщина пластины, см	0,8	1,0	1,4	1,6	1,8	1,9	2,0	2,0	1,9	1,6

3 Методические указания по выполнению самостоятельной работы

3.1 Расчет ширины зоны нагрева при действии мощного быстродвижущегося источника на поверхности полубесконечного тела

При оценке влияния термического цикла на свариваемый металл необходимо определить ширину $2L$ зоны, приращение температуры, в которой превышало заданное ΔT . Для этого обычно используют формулы, полученные из выражений для расчета максимальных температур, т. к. ширина зоны нагрева равна ширине соответствующей изотермы. Нагрев металла при сварке вызывает изменение его свойств в ЗТВ. При этом участки ЗТВ, нагретые до разных температур, приобретают различные строения и свойства.

Необходимо определить ширину зоны, нагреваемой выше следующих температур:

околошовный участок.....	1720...1400 К
участок нормализации.....	1400...1120 К
участок неполной перекристаллизации	1120...995 К
участок рекристаллизации.....	995...733 К
участок синеломкости.....	773...473 К.

Начальную температуру тела принять равной 295 К.

При действии мощного быстродействующего точечного источника теплоты на поверхности полубесконечного тела ширина участка металла, нагретого выше заданной температуры, определяется выражением

$$2L = \sqrt{\frac{8q}{\pi e v_{ср} \Delta T}}, \quad (1)$$

где $2L$ – ширина участка нагрева, расположенного по две стороны от оси Ox (ось шва);

q – эффективная тепловая мощность дуги, Вт; $q = \eta \cdot I \cdot U$;

η – эффективный КПД дуги;

e – основание натуральных логарифмов, $e = 2,718$;

ΔT – приращение температуры, выше значения которого нагрет участок шириной $2L$, $\Delta T = T - T_H$;

T_H – начальная температура тела, К;

v – скорость сварки, см/с;

c_p – объемная теплоемкость, $c_p = 4,9$ Дж/(см³·К).

3.2 Расчет ширины зоны нагрева при действии линейного источника в пластине

В случае сварки пластины мощным быстродействующим линейным источником ширина участка металла, нагретого выше заданной температуры, определяется выражением

$$2L = \frac{q \sqrt{\frac{2}{\pi e}}}{v_{ср} \delta \Delta T}, \quad (2)$$

где δ – толщина металла, см.

4 Пример выполнения индивидуального задания

4.1 Расчет ширины зоны нагрева участка синеломкости при действии линейного источника в пластине

Исходные данные для выполнения расчета.

Сила сварочного тока $I = 275$ А.

Напряжение на дуге $U = 32$ В.

Скорость сварки $v = 0,9$ см/с.

Толщина пластины $\delta = 0,8$ см.

Эффективный КПД дуги $\eta = 0,8$.

Определить протяженность участка синеломкости в диапазоне температур $T = 773 \dots 473$ К.

Решение

Используем формулу (1).

Рассчитаем эффективную тепловую мощность дуги

$$q = \eta IU = 0,8 \cdot 275 \cdot 32 = 7040 \text{ Вт.}$$

Определим приращение температуры в диапазоне температур участка синеломкости:

$$\Delta T_1 = T - T_H = 773 - 295 = 478 \text{ К;}$$

$$\Delta T_2 = T - T_H = 473 - 295 = 178 \text{ К.}$$

Тогда

$$2L_1 = \frac{q \sqrt{\frac{2}{\pi e}}}{v_{\text{ср}} \delta \Delta T_1} = \frac{7040 \sqrt{\frac{2}{3,14 \cdot 2,718}}}{0,9 \cdot 4,9 \cdot 0,8 \cdot 478} = 2,02 \text{ см;}$$

$$2L_2 = \frac{q \sqrt{\frac{2}{\pi e}}}{v_{\text{ср}} \delta \Delta T_2} = \frac{7040 \sqrt{\frac{2}{3,14 \cdot 2,718}}}{0,9 \cdot 4,9 \cdot 0,8 \cdot 178} = 5,43 \text{ см.}$$

Список литературы

1 Теория сварочных процессов: учебник / В. М. Неровный [и др.]; под ред. В. М. Неровного. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. – 702 с.