

Міністерство освіти та науки, молоді та спорту України

Донбаська державна машинобудівна академія

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до курсової роботи з дисципліни

«ТЕОРІЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ»

**для студентів спеціальності «Технології і устаткування
зварювання» усіх форм навчання**

Затверджено

на засіданні кафедри ОіТЗВ,
протокол №20 від 5.06.2012 р.

Краматорськ 2012

УДК 621.791

Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни
“Теорія зварювальних процесів” для студентів спеціальності
“Технології і устаткування зварювання” усіх форм навчання /
Укл. Богуцький О.А.. – Краматорськ: ДДМА, 2012. - с

В методичних вказівках наведено мету, задачі та темати-
ку робіт, варіанти завдань та вимоги до оформлення курсової
роботи

Укладач

Богуцький О.А., доц.

Відп. за випуск

Макаренко Н.А.

24/2002. Підп. до друку

Формат 60х84/16.

Офсетний друк. Ум. друк. арк. Облік. – вид. арк. Тираж

ДДМА. 84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 74

1 Основні умовні позначення

- T** - температура твердого тіла, $^{\circ}\text{C}$;
- t** - час, с;
- X, Y, Z** - прямокутні координати рухомої системи, м;
- R** - просторовий радіус-вектор, відстань точки від початку рухомої системи координат, $R^2 = X^2 + Y^2 + Z^2$, м;
- r** - плоский радіус-вектор елемента рухомого поля (для пластини) від початку координат, $r^2 = X^2 + Y^2$, м;
- r_x** - перпендикуляр з аналізованої точки на вісь переміщення джерела нагрівання, $r_x^2 = Y^2 + Z^2$, м;
- q_и = η_и I_{зв} U_д** - ефективна теплова потужність джерела, Вт;
- η_и** - ефективний ККД нагрівання металу, що зварюється;
- I_{зв}** - сила зварювального струму, А;
- U_д** - значення напруги на дузі при зварюванні, В;
- V_{зв}** - швидкість зварювання, м/г;
- δ** - товщина зварюваної пластини, м;
- T_м** - максимальна температура точки, $^{\circ}\text{C}$;
- t_м** - час настання максимальної температури, с;
- T_с** - температура навколишнього середовища, початкова температура тіла, температура попереднього підігріву, $^{\circ}\text{C}$;
- W_{кр}** - швидкість (критична) охолодження, град/с;
- K₀(U)** - функція Бесселя від уявного аргументу другого роду нульового порядку, табличний розмір;
- c_γ** - об'ємна теплоємність металу, Дж/м³·град;
- λ** - коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·град;
- a = λ/c_γ** - коефіцієнт температуропровідності, м²/с;
- B = 2α/c_γδ** - коефіцієнт температуровіддачі пластини, с⁻¹;
- α** - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м²·град;
- ψ₂(ρ₂, τ), ψ₃(ρ₃, τ)** - коефіцієнт теплонасичення для пластини і напівнескінченного тіла;

$$\rho_2 = r \sqrt{\frac{V_{3B}^2}{4a^2} + \frac{B}{a}}, \tau_2 = t_H (V_{3B}^2 / 4a + B) \quad \text{-безрозмірні критерії}$$

відстані і часу для плоского процесу поширення тепла від лінійного джерела, що переміщується в пластині;

$$\rho_3 = \frac{V_{3B} R}{2a}$$

$$\tau_3 = V_{3B}^2 t_H / 4a \quad \text{- безрозмірні критерії відстані і часу для просторового процесу поширення тепла точкового джерела, що переміщується по поверхні напівнескінченного тіла.}$$

2 Загальні положення

Курсова робота з дисципліни «Теорія зварювальних процесів» виконується студентами спеціальності “Технологія і устаткування зварювання” денної форми навчання в шостому семестрі і заочної форми навчання - у дев'ятому. Курсова робота є заключним етапом освоєння «Теорії зварювальних процесів» (ТЗП). Вона потребує застосування теоретичних положень курсу для практичного аналізу конкретних умов зварювання з метою оптимізації умов і параметрів режиму.

Абсолютна більшість методів і засобів зварювання в наш час пов'язана з місцевим нагріванням і охолодженням матеріалу, що зварюється. Проблеми, обумовлені тепловими процесами, що відбуваються при зварюванні, найважливіші в сучасному зварювальному виробництві. Відповідно до цього велика частина завдань по курсовій роботі використовує положення розділу «Теплові процеси при зварюванні» дисципліни ТЗП або окремої дисципліни «Термодинаміка і теплові процеси при зварюванні». Ці методичні вказівки складені для полегшення самостійної роботи над завданнями курсових робіт, пов'язаних із розрахунком теплових процесів.

Курсова робота з ТЗП та задачі інших розділів дисципліни видається викладачами в індивідуальному порядку за іншими методичними вказівками. Встановлення закономірностей протікання теплових процесів у виробі, що зварюється, лише інструмент для аналізу утворення зони термічного впливу для конкретних сталей за хімічним складом, розмірами, та формою. Студенти визначають протяжність окремих зон, що впливають на якість з'єднання, розраховують розміри зон проплавлення, швидкості охолодження визначених точок, визначають і аналізують структури розпаду аустеніту в даних умовах, оцінюють зварюваність із погляду можливості утворення холодних тріщин та ін. Таким чином, для виконання курсової роботи використовуються знання і навички з дисциплін: «Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів», «Термодинаміка і теплові процеси зварювання», «Теорія зварювальних процесів».

У роботі об'ємиста розрахункова частина. Проводити розрахунки доцільно з застосуванням мікрокалькуляторів із найпростішими програмами. Частина завдань виконується з застосуванням ЕОМ у обчислювальному центрі академії.

3 Мета, задачі і тематика робіт

3.1 *Мета курсової роботи* - навчити студентів зварювальної спеціальності застосовувати положення курсу «Теорія зварювальних процесів» до розв'язання практичних питань зварювального виробництва.

3.2 *Задача роботи*

3.2.1 За запропонованими умовами зварювання (хімічний склад і розміри матеріалу, що зварюється, параметри режиму: сила зварювального струму – $I_{зв}$, А; напруга на дузі - U_d , В; швидкість зварювання - $V_{зв}$, м/г) вибрати й обґрунтувати розрахункову схему розподілу температурного поля.

3.2.2 Розрахувати розподіл температур уздовж осі шва і на деякому видаленні від неї. Побудувати криві розподілу температур на одному графіку в координатах (T , $^{\circ}\text{C}$; X , Y) для розрахованих точок.

3.2.3 За кривими розподілу температур уздовж осі шва графічним перебудуванням одержати ізотерми температур 200, 600, 800, 1350 $^{\circ}\text{C}$ на поверхні виробу, що зварюється.

3.2.4 За ізотермою $T = 1350^{\circ}\text{C}$ (п.3.2.3.) графічно визначити координати точки зварного з'єднання, що нагрівається до 1350 $^{\circ}\text{C}$. Відповідно до обраної схеми розрахувати і побудувати термічний цикл даної точки.

3.2.5 Ознайомитися з прийомами розрахунку температур тіла, що зварюється, в період теплонасичення. Розрахувати і побудувати графіки розподілу температур у поперечному перетині тіла при граничному температурному полі і на двох різноманітних стадіях періоду теплонасичення (за індивідуальним завданням). Порівняти і проаналізувати отримані результати.

3.2.6 Приймаючи для спрощення джерело нагрівання, що швидко рухається (відповідно до точкових або лінійних), розрахувати розподіл максимальних температур у поперечному перетині зони термічного впливу зварного з'єднання.

3.2.7 Використовуючи інформацію про розподіл максимальних температур у зоні термічного впливу (ЗТВ), діаграму стану «залізо-вуглець» і хімічний склад металу, що зварюється, визначити протяжність окремих ділянок ЗТВ у даних умовах (у метрах): ділянка неповного розплавлення, крупного зерна, нормалізації й ін.

3.2.8 Визначити кінцеву структуру точки ЗТВ, що нагрівається до 1350 $^{\circ}\text{C}$, використовуючи термічний цикл (п.3.2.4.) точки і термкінетичну діаграму для заданої марки сталі.

3.2.9 Провести (за указівкою викладача) теоретичний розрахунок деяких розмірів зварного з'єднання: довжини, ширини, об'єму ванни, площі проплавлення, площі наплавлення та ін., приймаючи джерело швидкорухомим, а тіло що зварюється - масивним (схема напівнескінченного тіла) або нескінченною пластиною.

3.2.10 Обравши одну зі схем - наплавлення валика на масивне тіло або однопрохідне зварювання листів встик - провести (для точок зварного з'єднання, заданих керівником) розрахунок миттєвих швидкостей охолодження і порівняти їх із допустимою для даної марки сталі. Зробити висновок про можливе тріщиноутворення.

3.3 Тематика робіт

3.3.1 Завдання індивідуальні, розраховані на виконання одним студентом. Варіанти завдань охоплюють три основні розрахункові схеми теплового поля в теорії поширення тепла при зварюванні: рухоме точкове джерело (РТД), що діє на поверхні напівнескінченного тіла; швидкорухоме на поверхні напівнескінченного тіла потужне точкове джерело (ШПТД); швидкорухоме у пластині потужне лінійне джерело (ШПЛД).

Кожний із варіантів відрізняється своїми вихідними даними: розмірами тіла що зварюється, заданими параметрами режиму зварювання.

3.3.2 Завдання видається студенту на спеціальному бланку з указівкою хімічного складу матеріалу, що зварюється, параметрів режиму ($I_{зв}$, U_d , $V_{зв}$), зразкового (рекомендованого для обчислень) значення ефективного коефіцієнта корисної дії дуги (табл. 1-3), умов розрахунку розподілу температур у період теплонасичення, товщини пластини. На бланку вказується термін виконання курсової роботи, дати видачі завдання, захисту роботи.

3.3.3 Крім теплових розрахунків, у курсовій роботі (в основному, для студентів денної форми навчання) можуть пропонуватися завдання за інших розділів курсу «Теорія зварювальних процесів»: «Джерела зварювального нагрівання», «Металургійні процеси зварювання» та ін. При цьому роблять розрахунок складу газової фази дуги при дисоціації газів, при зварюванні в газових сумішах. Розраховують ступінь іонізації газової фази з урахуванням випарів металів і на цій основі визначають такі параметри дуги, як щільність току, температуру стовпа дуги, і будують вольтамперну характеристику дуги. Розраховують процеси окислювання металу шва в залежності від складу газів і металу, визначають розкислювальну спроможність елементів у визначених умовах зварювання і вибирають зварювальні матеріали. Розрахунковим шляхом оцінюють втрати елементів на випар із багатокомпонентного складу електродного металу. Зазначені роботи виконуються за спеціальними методиками із використанням лекційного матеріалу з дисципліни «Теорія зварювальних процесів» при індивідуальних консультаціях.

3.3.4 У курсовій роботі в якості металу, що зварюється, передбачені тільки низьковуглецеві, низьколеговані, конструкційні та інструментальні сталі. Теплофізичні властивості сталі, що рекомендуються для розрахунків, приведені в додатку А. За цих умов можна задаватися значеннями ефективного ККД зварювання, приведеними в табл. 1...3.

Таблиця 1 - Умови завдань для схеми «Рухоме точкове джерело»

Номер рядка	$I_{зв}, A$	$U_{д}, B$	η_u	Швидкість зварювання, $V_{зв}, м/г$												
1	100	20	0,6	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	120	20	0,6	3	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	140	22	0,65	3	3,5	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	160	22	0,65	3	3,5	4	4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	180	24	0,65	3	3,5	4	4,5	5	-	-	-	-	-	-	-	-
6	200	24	0,7	3	3,5	4	4,5	5	5,5	-	-	-	-	-	-	-
7	220	24	0,7	-	3,5	4	4,5	5	5,5	6	-	-	-	-	-	-
8	240	26	0,7	-	-	4	4,5	5	5,5	6	6,5	-	-	-	-	-
9	260	26	0,7	-	-	-	4,5	5	5,5	6	6,5	7	-	-	-	-
10	280	26	0,75	-	-	-	-	5	5,5	6	6,5	7	7,5	-	-	-
11	300	28	0,75	-	-	-	-	-	5,5	6	6,5	7	7,5	8	-	-
12	320	28	0,75	-	-	-	-	-	-	6	6,5	7	7,5	8	8,5	-
13	340	28	0,75	-	-	-	-	-	-	-	6,5	7	7,5	8	8,5	9

Таблиця 2 - Умови завдань для схеми «Швидкорухоме потужне точкове джерело»

Номер рядка	$I_{ЗВ},$ А	$U_{Д},$ В	η_u	Швидкість зварювання, $V_{ЗВ},$ м/Г													
				15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	600	34	0,75	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	650	36	0,75	15	17,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	700	36	0,75	15	17,5	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	750	38	0,8	15	17,5	20	22,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	800	38	0,8	15	17,5	20	22,5	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	850	40	0,8	15	17,5	20	22,5	25	27,5	-	-	-	-	-	-	-	-
7	900	40	0,85	-	17,5	20	22,5	25	27,5	30	-	-	-	-	-	-	-
8	950	42	0,85	-	-	20	22,5	25	27,5	30	32,5	-	-	-	-	-	-
9	1000	42	0,85	-	-	-	22,5	25	27,5	30	32,5	35	-	-	-	-	-
10	1050	44	0,85	-	-	-	-	25	27,5	30	32,5	35	37,5	-	-	-	-
11	1100	44	0,9	-	-	-	-	-	27,5	30	32,5	35	37,5	40	-	-	-
12	1150	46	0,9	-	-	-	-	-	-	30	32,5	35	37,5	40	42,5	-	-
13	1200	46	0,9	-	-	-	-	-	-	-	32,5	35	37,5	40	42,5	45	-

Таблиця 3 - Умови завдань для схеми “ Швидкорухоме потужне лінійне джерело”

Номер рядка	$I_{ЗВ},$ А	$U_{Д},$ В	$S,$ мм	η_u	Швидкість зварювання, $V_{ЗВ},$ м/г												
1	600	34	10	0,8	36	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2	650	36	10	0,8	36	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3	700	36	10	0,8	36	38	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4	750	38	11	0,85	36	38	40	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5	800	38	11	0,85	36	38	40	42	44	--	--	--	--	--	--	--	--
6	850	40	11	0,85	36	38	40	42	44	46	--	--	--	--	--	--	--
7	900	40	12	0,9	--	38	40	42	44	46	48	--	--	--	--	--	--
8	950	42	12	0,9	--	--	40	42	44	46	48	50	--	--	--	--	--
9	1000	42	12	0,9	--	--	--	42	44	46	48	50	52	--	--	--	--
10	1050	44	13	0,95	--	--	--	--	44	46	48	50	52	54	--	--	--
11	1100	44	13	0,95	--	--	--	--	--	46	48	50	52	54	56	--	--
12	1150	46	14	0,95	--	--	--	--	--	--	48	50	52	54	56	58	--
13	1200	46	14	0,95	--	--	--	--	--	--	--	50	52	54	56	58	60

4 Обсяг і зміст курсової роботи

Теплові розрахунки обмежені такими основними схемами:

4.1 РТД - точкове джерело постійної потужності, що рухається прямолінійно з постійною швидкістю по поверхні напівнескінченного тіла. Схема РТД застосовується для дослідження температурних полів при ручному дуговому зварюванні масивних виробів. Рівняння граничного стану процесу поширення тепла, віднесене до рухомої системи координат (її початок з'єднаний із джерелом нагрівання), має вид

$$T_{(R,x)} = \frac{q_u}{2\pi\lambda R} \exp\left(-\frac{V_{зв}}{2a}(x + R)\right) \quad (1)$$

де X - абсциса аналізованої точки в рухомій системі.

Для точок, розташованих поперед дуги (позитивна піввісь) ординати « X » позитивні, на негативній піввісі - негативні.

Швидкість переміщення джерела нагрівання і його потужність невелика, тепло поширюється поперед дуги. Ступінь витягнутості температурного поля визначається не абсолютним розміром швидкості, а складним параметром $V_{зв}/a$. Поверхневі ізотерми від РТД - овальні замкнуті криві, усунуті щодо джерела убік протилежний переміщенню. За дугою швидкість зварювання не впливає на форму ізотерм. Ізотерми низьких температур у порівнянні з високими більш витягнуті. При наближенні до місця дії джерела (за схемою воно зосереджене у точці) температура точок тіла швидко росте і при $R \rightarrow 0$ $T \rightarrow \infty$. При розрахунку розподілу температур на поверхні виробу уздовж осі OX , тобто залежності $T=f(X)$, спочатку приймають $y = 0$, потім надають y деякі значення. За значенням максимальних температур розрахунків звичайно доводять до температури плавлення $T_{пл}$. У середині ванни не можна розраховувати температурні поля за формулою (1). Результати розрахунку подають у табличному виді і на окремому рисунку (рис.1)*. Для якісної побудови графіків рис.1 необхідно, щоб між $T_{пл}$ і 200°C на гілці охолодження було не менше 10 значень температури, на гілці нагрівання - 5.

Термічний цикл окремих точок (залежність $T=f(t)$), можна побудувати, за поданням до перерахунку кривих $T=f(x)$, за поданням їх в іншому масштабі. При цьому використовується залежність $t=X/V_{зв}$. Перерахунок придатний і при $y=0$ і при $y \neq 0$. Неточності виникають через те, що аналітично не можна одержати температуру точки, рівну нулю. Для побудови термічного

* Тут і далі маються на увазі рисунки, виконувані самими студентами.

циклу за початок координат варто застосовувати деякі значення температур (20...10⁰С) у залежності від необхідної точності. У курсовій роботі розраховується і будується термічний цикл – для точки, що нагрівається до 1350 ⁰С. Термічний цикл зображують на рис. 4.

Поверхневі ізотерми (рис.2) утворюються графічним перебудуванням даних рис.1. При цьому необхідно стежити, щоб для кожної ізотерми кількість точок складала 8...10. Якщо їх менше, варто доповнити розрахункові дані проміжними при нових значеннях **У**.

Для розрахунку максимальних температур точок (**T_m** у схемі РТД немає аналітичного виразу. Його одержують таким чином: а) ведуть розрахунок за схемою ШПТД; б) будують «шматочки» термічних циклів для значень декількох негативних «Х» («У» задано, “Х” - приймають рівним 0), **T_m** визначають із графіка; в) використовують спеціальні номограми [1, с.460] і методику [1, с.463]. **T_m** у точках, віддалених від осі ОХ, досягається не в момент проходження дуги через площину перпендикулярну осі зварювання, а декілька пізніше. Чим далі точка від осі переміщення, тим нижче **T_m** і більше **t_m**. При виконанні курсової роботи значення максимальних температур можна визначати за формулами для схеми ШПТД. Поєднавши на одному рисунку (рис.5) **T_m=f(y)**, і діаграму “залізо-вуглець” (додаток Е), визначають протяжність найбільш характерних ділянок навколошовної зони. Розміри зон визначають два рази: за кількістю вуглецю в сталі (додаток Б), а також за еквівалентним утриманням вуглецю [2]:

$$C_3 = (C + \frac{M_n}{6} + \frac{Cr + V}{5} + \frac{M_0}{4} + \frac{N_i}{15} + \frac{Cu + P}{13 \cdot 2})\%, \quad (2)$$

де С, Мп, V...- відсотковий вміст елемента в сталі. Утримання міді враховують при Cu ≥ 0,5%, а фосфору при P ≥ 0,05%.

Визначення температури точки в період теплонасичення **T_Н** роблять із передумови

$$T_{\text{н}} = \psi T_{\text{пр}}, \quad (3)$$

де **T_{пр}** - температура аналізованої точки при сталому температурному полі, формула (1).

ψ – коефіцієнт теплонасичення для точкового або лінійного джерел, (додатки В і Г).

Коефіцієнт теплонасичення розраховують за часом теплонасичення (часом дії джерела t_H), V_{3B} , координатою точки, теплофізичними властивостями металу

$$t_H = L/V_{3B}, \quad (4)$$

де L - довжина шва на момент розрахунку.

Розрахункові дані по розподілу температур у поперечному перетині зварювального з'єднання $T=f(y)$ для граничного температурного поля при двох періодах теплонасичення при $L=10$ і 50 мм приводяться таблично і на графіках рис. 3.

Відомо, що структура і властивості зварного з'єднання залежать від швидкості розпаду аустеніту, що визначається швидкістю охолодження даної точки. У роботі структуру визначають за точкою, що нагрівається до 1350°C . На рис.6 сполучають діаграму ізотермічного розпаду аустеніту сталі, що зварюється, і гілку охолодження термічного циклу (рис.4), що дозволяє зробити висновок про можливість утворення холодних тріщин в кінцевій структурі.

4.2 ШПТД - потужне точкове джерело постійної потужності, що швидко рухається, прямолінійно з постійною швидкістю на поверхні напівнескінченного тіла. Схема ШПТД застосовується для дослідження температурних полів при автоматичному дуговому зварюванні масивних виробів. Рівняння граничного стану процесу поширення тепла має вид

$$T(y_0, z_0, t) = \frac{q_n}{2\pi\lambda t} \exp(-(y_0^2 + z_0^2)/4at), \quad (5)$$

де t - час із моменту перетинання джерелом тепла площини Y_0Z_0 з аналізованою точкою;

Y_0 і Z_0 - нерухомі точки, пов'язані з виробом, вони не відрізняються від рухливих точок Y і Z .

Тому для розрахунку можна використовувати формулу (5) у виді

$$T(r_x, t) = \frac{q_b}{2\pi\lambda x} \exp(-r^2 V_{3B} / 4ax). \quad (6)$$

В останньому рівнянні зроблена заміна $V_{3B} \cdot t = X$.

Схема ШПТД розроблена для специфічного температурного поля, що настає при $q_b \rightarrow \infty$ і $U_{3B} \rightarrow \infty$. Джерелом поширення тепла можна зневажити, зпереду, внаслідок високої швидкості переміщення, тепло не поширюється. Ізотерми витягнуті й у більшій своїй частині рівнобіжні одна

одній. Це показує, що для схеми ШПТД характерний тепловідвід перпендикулярно до осі зварювання. У самому джерелі ізотерми зливаються, за джерелом - сильно витягнуті й вузькі. На практиці навіть при дуже великих швидкостях тепло поширюється перпендикулярно тільки поблизу шва, тому більш точні розрахунки температур - поруч із швом.

Відзначимо деякі особливості розрахунку в порівнянні зі схемою РТД. Розподіл температур і термічні цикли точок розраховують безпосередньо за рівняннями (5) і (6). Максимальні температури в точках, заданих координатами Y і Z визначають за формулою (7). А час настання T_m за формулою (8)

$$T_{m(r_x)} = \frac{0,368q_B}{\pi/2 V_{зв} c \gamma r_x^2}, \quad (7)$$

$$t_m = r_x^2 / 4a. \quad (8)$$

При розрахунку температур у поперечному перетині шва для двох моментів періоду теплонасичення знаходять два розподіли температур і для граничного температурного поля.

У інших розрахунках варто дотримуватися послідовності, описаної в розділі 4.1.

4.3 ШПЛД - потужне лінійне джерело сталої потужності, що швидко рухається з постійною швидкістю на пластині. Схема ШПЛД застосовується для дослідження температурних полів, при автоматичному дуговому зварюванні пластин встик за один прохід. Рівняння граничного стану процесу поширення тепла має вид

$$T_{(y_0,t)} = \frac{q_B}{V_{зв} \delta \sqrt{4\pi\lambda c \gamma t}} \exp\left(-\frac{y_0^2}{4at} - bt\right), \quad (9)$$

де b - враховує зниження температури за рахунок тепловіддачі бокових поверхонь, коефіцієнт тепловіддачі пластини; для грубих розрахунків можна приймати $b = 0$;

Y_0 - координата знаходження джерела тепла, $Y_0 = Y$.

Характер процесу поширення тепла аналогічний описаному для схеми ШПТД в масивному виробі. Термічний цикл розраховують із виразу (9).

Розподіл температур одержують при заміні $X = V_{зв} t$.

Максимальні температури визначають за формулою (10)

$$T_{m(y_0)} = \frac{0,484q_B}{V_{3B}c\gamma\delta 2y_0} \left(1 - \frac{by_0^2}{2a}\right) \quad (10)$$

Максимальні температури з віддаленням від площини переміщення джерела убувають повільніше, ніж T_m для напівнескінченного тіла. Час настання t_m знаходять із розв'язання квадратного рівняння (11)

$$t_m^2 + \frac{t_m}{2b} - \frac{y_0^2}{4ab} = 0 \quad (11)$$

5 Вимоги до оформлення

Курсова робота складається з розрахунково-пояснювальної записки, таблиць і рисунків.

5.1 Розрахунково-пояснювальна записка при навчальному проектуванні об'єднує в собі два технологічних документи: пояснювальну записку і розрахунки.

5.1.1 Розрахунково-пояснювальну записку оформляють рукописним способом на одній стороні аркушу паперу формату А4 із нанесенням на ньому рамки.

5.1.2 При оформленні листів записки рекомендується витримувати відстань від верхнього або нижнього рядка тексту до краю листа не менше 15 мм по горизонталі: на початку рядка не менше 25 мм, наприкінці – 8 мм від краю листа. Заголовки повинні бути можливо стислими, відповідати змісту записки, записуватися прописними буквами. Точку наприкінці заголовка не ставлять.

Переноси слів не допускаються. Підкреслювати заголовки не можна. Між заголовками і текстом повинно бути не менше 10 мм, між останнім рядком тексту і наступним заголовком - не менше 15 мм. Скорочення слів припускаються відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТУ 7.12-77 і узвичаєні (і т.д., і т.п., та ін.).

5.1.3 Сторінки записки нумерують арабськими цифрами. Поділи повинні мати порядкову нумерацію (арабськими цифрами) крім висновка і вступу. Ілюстрації (таблиці, рисунки, схеми), розташовані на окремих аркушах, входять у загальну нумерацію.

Ілюстрації розташовують після першого їхнього текстового нагадування.

5.1.4 Рекомендується така побудова записки:

Титульний лист (додаток Д).

Бланк завдання (у нумерацію не входять)

Вступ (обґрунтування вибору розрахункової схеми, пояснення періодів теплового поля, впливи теплових процесів на формування зварного з'єднання та ін.)

1 Розрахунок температурного поля граничного стану по вісі переміщення джерела нагрівання (рис.1). Побудова поверхневих ізотерм (у даний розділ включити табл.1, і рис.2)

2 Порівняння температур точок тіла в період теплонасичення і граничного температурного поля (табл.2, табл.3, рис.3)

3 Розрахунок термічного циклу точки, нагрітої до $T=1350^{\circ}\text{C}$ (табл.4, рис.4)

4 Розрахунок розподілу максимальних температур. Визначення протяжності ділянок ЗТВ (табл.5, рис.5).

5 Визначення структури металу, що зварюється, по точці, що нагрівається до $T=1350^{\circ}\text{C}$ (рис. 6).

Висновки (не перерахування виконаного в роботі, а наукові висновки і рекомендації практичного застосування результатів)

Перелік посилань

5.1.5 Розрахунки і побудова графіків виконуються на комп'ютері з застосуванням пакетів прикладних програм EXCEL, MathCad і ін.

5.1.6 Розрахункову формулу записують із посиланням на джерело, нумерують арабськими цифрами, номер ставлять із правої сторони листа на рівні формули в круглих дужках. Під формулою приводять розшифровування її символів: кожний символ приводять із нового рядка, послідовність - за формулою, перший рядок починається зі слова «де» без двокрапки. У межах записки формули не повторюються, розшифровування символу дається один раз.

Звичайно наводять формулу, запис її з підставленими розмірами, значення шуканого розміру (або наведення результатів у виді таблиці). При посиланні в тексті на формулу дають її номер у круглих дужках, наприклад, «... у формулі (11)».

5.1.7 Посилання на літературне джерело в тексті нумерують за списком літератури, укладений у квадратні дужки, при необхідності з указівкою сторінки джерела, наприклад: [1, с.75]. Список оформляють згідно з ДЕРЖСТАНДАРТОМ 7.1-76.

5.2 Таблиці повинні мати наскрізну нумерацію арабськими цифрами. Кожна таблиця має тематичний заголовок. У лівому верхньому кутку таблиці перед заголовком розміщують напис «Таблиця...» із указівкою номера. При переносі на інші сторінки над частинами таблиці пишуть: «Продовження таблиці 4». Графа «№ п.п» у таблицю не включається. Текст у головці таблиці може бути тільки в 1 або 2 рядки. Поділяти головку таблиці по діагоналі не допускається. У тексті записки посилання на таблицю даються зі скороченнями: «... у табл. 5».

5.3 Всі рисунки виконують на міліметровій чорним олівцем за допомогою креслярських інструментів. Формат рисунків А3 або А4 без оформлення рамки.

Рисунки дають на окремих листах, що розміщені по тексту. Нумерують послідовно в межах курсової роботи. Кожний рисунок повинний містити тематичне найменування, а при необхідності - і пояснюючі дані (підрисунковий текст). Посилання в тексті на рисунки приводять із скороченням: «Рис.1».

5.3.1 Для курсової роботи з теплових процесів можна рекомендувати такі найменування рисунків:

Рисунок 1 - Температурне поле граничного стану при русі точкового (лінійного і потужного, швидкорухомого точкового та ін.) джерела на поверхні напівнескінченного тіла (у нескінченій пластині).

Рисунок 2 - Ізотерми 200, 600, 800, 1350⁰С на поверхні напівнескінченного тіла (нескінченної пластини).

Рисунок 3 - Розподіл температур у поперечному перетині шва при постійному температурному полі й у період теплонасичення.

Рисунок 4 - Термічний цикл точок, що нагріваються до 1350⁰С.

Рисунок 5 - Визначення протяжності ділянок ЗТВ.

Рисунок 6 - Визначення структури і властивостей металу, що зварюється, по точці, що нагрівається до 1350⁰С.

На рисунках обов'язково позначають окремий графік, термічний цикл, положення ізотерми, проміжні побудови. На рис.2 припускають використання різноманітних масштабів по осі Х і У.

6 Виконання і захист роботи

6.1 По роботі виставляється диференційована оцінка. Завдання видається на 1-му тижні поточного семестру на додатковому занятті.

6.2 Захист курсової роботи передбачений за три тижні до початку екзаменаційної сесії. При захисті на комісії розглядають перевірену роботу, враховують зауваження.

6.3 У критерії оцінки включають: своєчасність одержання завдання і захист роботи; відвідування консультацій; якість відповідей на захисті, загальний рівень знань з дисципліни.

Рекомендована література

- 1 Теоретические основы сварки / Под ред. В.В.Фролова. – М.: Высш.шк., 1970.- 592 с.
- 2 Петров Г.Л., Тумарев А.С. Теория сварочных процессов (с основами физической химии). – 2-е изд., перераб.- М.: Высш.шк., 1977.- 392 с.
- 3 Багрянский К.В., Добротина З.А., Хренов К.К. Теория сварочных процессов. – 2-е изд., перераб.- Киев: Вища школа, 1976.-424 с.
- 4 Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. - М.: Машгиз, 1951.-296 с.
- 5 Попов А.А., Попова Л.Е. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита: Справочник термиста.- 2-е изд., перераб.- М.: Металлургия, 1965.- 495 с.
- 6 Теория сварочных процессов: Учеб. для вузов по спец. «Обустройство и технология сварочн. пр-ва» / В.Н.Волченко, В.М.Ямпольский, В.А. Винокуров и др.; Под.ред В.В.Фролова. – М.: Высш.шк., 1988. - 559 с.
- 7 Лебедев Б.Д. Розрахунки в теорії зварних процесів: Навч.посібник .- К.: НМК ВО, 1992. – 320 с.
- 8 Атлас диаграмм изотермического образования и распада аустенита различных конструкционных, инструментальных и штамповых сталей. / Белкин М.Я. – Краматорск. – 1988. – 120 с.

Додаток А

Теплофізичні константи металів і сплавів, рекомендованих для обліку

Матеріал	Температура плавлення, °С	Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/м·К	Об'ємна теплоємність $c \cdot 10^0$, Дж/м ³ ·К	Коефіцієнт температуропровідності $a \cdot 10^{-6}$, м ² /с
Низьковуглецеві і низьколеговані сталі	1500	41,9	4,8	8,7
Нержавіючі аустенітні сталі	1500	25,1	4,2	6,0
Мідь	1100	376,0	3,9	96,0
Сплави алюмінію	650	251,2	2,7	93,0
Технічний титан	1660	16,7	3,3	5,0

Примітка: для навчального розрахунку матеріалів рекомендується приймати величину коефіцієнта тепловіддачі $\alpha = 60$ Вт/м²град.

Додаток Б
Хімічний склад металу

Но мер п/п	Марка сталі	Хімічний склад, %							
		C	Si	Mn	Cr	Cu	V	Ni	Mo
1	Сталь ВСТЗкп	0,14	0,07	0,30	0,30	0,30	-	0,30	-
2	Сталь ВСТЗпс	0,14	0,05	0,05	0,30	0,30	-	0,30	-
3	Сталь 20 пс	0,17	0,05	0,35	0,25	0,25	-	0,25	-
4	Сталь 35	0,36	0,27	0,66	0,21	0,22	-	-	-
5	Сталь 45	0,44	0,22	0,66	0,15	-	0,02	-	-
6	Сталь 55	0,52	0,17	0,50	0,25	0,25	-	0,25	-
7	Сталь 20Х	0,17	0,17	0,50	0,70	0,30	-	0,30	-
8	Сталь 35Х	0,35	0,23	0,65	1,11	-	-	0,23	-
9	Сталь 40Х	0,36	0,17	0,50	0,70	0,30	-	0,30	-
10	Сталь 45Х	0,44	0,22	0,8	1,04	-	-	0,26	-
11	Сталь 50Х	0,46	0,17	0,50	0,70	0,30	-	0,30	-
12	Сталь 40Г	0,37	0,17	0,70	0,30	0,30	-	0,30	-
13	Сталь 45Г2	0,41	0,17	1,4	0,30	0,30	-	0,30	-
14	Сталь 18ХГТ	0,17	0,17	0,8	1,00	0,30	-	0,30	-
15	Сталь 15 ХФ	0,12	0,17	0,40	0,8	0,30	-	0,30	-
16	Сталь 40ХС	0,37	1,20	0,30	1,30	0,30	-	0,30	-
17	Сталь 35ХМ	0,32	0,17	0,40	0,80	0,30	-	0,30	0,15
18	Сталь 12ХН3А	0,09	0,17	0,3	0,6	0,30	-	0,75	-
19	Сталь 18Х2Н4ВА	0,14	0,17	0,25	1,35	0,30	-	4,0	-
20	Сталь 15ХМ	0,11	0,17	0,4	0,8	0,30	-	0,30	0,40
21	Сталь ШХ15	0,9	0,17	0,2	1,30	0,25	-	0,30	-
22	Сталь 55С2	0,52	1,5	0,20	0,30	0,20	-	0,25	-
23	Сталь У7	0,66	0,17	0,17	0,20	0,25	-	0,25	-
24	Сталь У9А	0,86	0,17	0,17	0,20	0,20	-	0,20	-
25	Сталь У12А	1,16	0,17	0,17	0,20	0,20	-	0,20	-
26	Сталь ХВГ	0,90	0,10	0,80	0,50	0,30	-	0,35	-
27	Сталь Р9	0,85	<0,5	<0,5	3,8	0,4	2,3	0,4	-
28	Сталь Р18	0,73	<0,5	<0,5	3,8	0,5	1,0	0,4	-

Зразок титульного листа

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Донбаська державна машинобудівна академія

КАФЕДРА «ОБЛАДНАННЯ І ТЕХНОЛОГІЇ
ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА»

КУРСОВА РОБОТА

з дисципліни «ТЕОРІЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ»

Розділ : Теплові процеси при зварюванні
 Металургійні процеси зварювання
 Джерела зварювального нагріву

BAPIAHT

Виконав: ст.групи ЗВ _____

(підпис) П.І.Б.

Керівник: (посада) _____
(підпис) П.І.Б.

Краматорськ 2012

Додаток Е

Діаграма стану «залізо-вуглець» (для сталі)

