Міністерство освіти і науки

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсової роботи
по дисципліні «Теорія процесів зварювання»
для студентів напрямку підготовки «Зварювання»,
освітньо-кваліфікаційний рівень – 6.050504 «Бакалавр»

Затверджено
на засіданні кафедри ТМ і М
Протокол №12/44
Від 16 березня 2015 р.

Укладач: С.О. Лузан

Відповідальний за випуск Мощенок В.І.

Харків ХНАДУ 2015

Укладач: С.О. Лузан

Кафедра технології металів і матеріалознавства

© С.О. Лузан
© ХНАДУ

ЗМІСТ

С

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ……...……...4
2МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ…….....4
3 ТЕМАТИКА, СТРУКТУРА ТА ОБ’ЄМ КУРСОВОЇ РОБОТ….....6
4ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ..7
5 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ.....18
СПИСОКЛІТЕРАТУРИ…….…...18
Додаток1…….……...20
Додаток2…….……...……21
Додаток3…….……...……25

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Ціль роботи - прищепити студентам навички дослідницької роботи; навчити самостійно працювати з літературними і довідковими даними; осмислювати переваги і недоліки різних розрахункових та експериментальних методик; розробляти (удосконалювати) конкретні методики дослідження властивостей основного й електродного (наплавочного) матеріалів і впливу процесів зварювання (наплавлення) на експлуатаційні характеристики зварені (наплавлених) виробів; застосовувати ЕОМ для розрахунків теплових і металургійних процесів та інших інженерних розрахунків.

Записку до курсової роботи варто оформляти у виді звіту по науково-дослідній роботі відповідно до вимог ДСТ 7.32-2001 із представленням розрахункових результатів у міжнародній системі одиниць і ДСТ 8.417-2002.

2 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Курсова робота є заключним етапом освоєння дисципліни «Теорія процесів зварювання». Тому основною метою курсової роботи є виховання у студентів навичок самостійної роботи по застосуванню теоретичних положень дисципліни для практичного аналізу конкретних умов зварювання з метою оптимізації параметрів режиму і умов протікання технологічного процесу. При цьому необхідно:

– оволодіння методикою розрахунку і встановлення основних закономірностей протікання теплових процесів у зварюваних виробах;

– оволодіння методикою визначення протяжності окремих ділянок зони термічного впливу, розмірів зони проплавлення і наплавлення, швидкості охолодження металу та інші;

– оволодіння методикою визначення та аналізу структури розпаду аустеніту в даних умовах зварювання, оцінки ймовірності утворення холодних тріщин при заданих параметрах режиму зварювання.

Метою курсової роботи є закріплення теоретичних знань за даним курсом, придбання практичних навичок для виконання

розрахунків по теплових процесах по зварюванню.

У процесі виконання курсової роботи студенти повинні навчитися вирішувати наступні завдання:

1) користуватися навчальною та науково-технічною літературою, довідниками;

2) по запропонованим умовам зварювання (наплавлення) вибрати та обґрунтувати розрахункову схему визначення температурного поля;

3) розрахувати розподіл температур уздовж осі шва; побудувати криві розподілу температур;

4) розрахувати розподіл температур на поверхні виробу по прямих, перпендикулярним осі шва; побудувати криві розподілу температур;

5) графічною побудовою одержати ізотерми для заданих температур;

6) розрахувати температуру точки початку шва у момент видалення від неї дуги на деяку відстань і через час після закінчення зварювання;

7) по ізотермі заданої температури відповідно до обраної схеми розрахувати та побудувати термічний цикл даної точки;

8) розрахувати розподіл максимальних температур у поперечному перерізі зони термічного впливу звареного з'єднання;

9) визначити довжину окремих ділянок ЗТВ у даних умовах (ділянка неповного розплавлювання, перегріву, нормалізації, неповній перекристалізації, рекристалізації та старіння);

10) розрахувати для ділянок ЗТВ миттєву швидкість охолодження при певній температурі та порівняти її із припустимою швидкістю охолодження для даної марки сталі, зробити висновок про можливетрещіноутворення;

11) визначити мінімальну температуру попереднього підігріву, що дозволяє уникнути появи гартівних структур.

3 ТЕМАТИКА, СТРУКТУРА ТА ОБ'ЄМ КУРСОВОЇ РОБОТИ

3.1 Теми курсової роботи

Тема курсової роботи пов'язана з поширенням теплоти при наплавленні валика на масивне тіло, зварюванню пластин за один прохід з повним проплавленням.

3.2 Пояснювальна записка до курсової роботи

Пояснювальна записка повинна мати наступну структуру:

титульний лист;

зміст;

вступ.

1. Аналіз, вибір, обґрунтування розрахункової схеми температурного поля.

2. Розрахунок розподілу температур уздовж осі шва та побудова кривої розподілу температур у координатах (T^0C - X, см).

3. Розрахунок розподілу температур перпендикулярно осі шва та побудова кривих розподілу температур у координатах ($T°C$-Y,см).

4. Побудова ізотерм на поверхні виробу.

5. Розрахунок і побудова термічного циклу для даної точки (координати T^0C - t, с).

6. Розрахунок температури даної точки рухливого температурного поля в процесі теплонасичення й у стадії вирівнювання температури.

7. Розрахунок розподілу максимальних температур у поперечному перерізі ЗТВ тапобудова кривих розподілу температур (координати $T°C$- Y,см).

8. Розрахунок миттєвої швидкості охолодження та порівняння її з допустимою.

9. Розрахунок мінімальної температури попереднього підігріву, що дозволяє уникнути появигартівних структур.

10. Визначення ширини ЗТВ, що нагрівалася вище заданої температури.

Висновки.

Список літератури.

Обсяг пояснювальної записки 25 - 30 сторінок. Детально вимоги до змісту розділів наведені в п. 4.

3.3 Графічна частина курсової роботи

Графічний матеріал курсової роботи повинен бути представлений у вигляді графіків. Графіки повинні будуватися з використанням обчислювальних пакетів *Mathcad, Matlab*або додаток *Microsoft Excel.* (можливо графіки виконувати олівцем на міліметровому папері) у масштабі 1:1. Загальний обсяг графічної частини 5 - 6 аркушів формату А4. Вимоги до змісту графічної частини наведені в п.4.

4 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Текстовий матеріал курсової роботи виконується в редакторі *Microsoft Word* і представляється у вигляді пояснювальної записки. Пояснювальна записка повинна бути викладена грамотно, літературною мовою, у гранично стислій формі й у той же час містити всі необхідні матеріали, що обґрунтовують ефективність та реальність прийнятих рішень.

4.1 Титульний лист

Титульний лист є першим аркушем пояснювальної записки та оформлюється відповідно до ДСТ 7.32-2001. Титульний лист рекомендується виконувати на щільному папері для того, щоб він міг бути використаний як обкладинка пояснювальної записки.

4.2 Зміст

У змісті послідовно перераховуються заголовки розділів, підрозділів, пунктів, підпунктів та додатків із вказівкою номерів сторінок. Зміст повиненмістити всі заголовки, наявні в тексті.

4.3 Вступ

У вступі в стислій формі дається характеристика спрощених схем тіла, що нагрівається, і джерел теплоти. Коротко формулюється мета роботи, і викладаються очікувані результати.

4.4 Вибір та обґрунтування розрахункової схеми визначення температурного поля

В основному варіанті завдання охоплюють чотири розрахункові схеми теплового поля в теорії поширення тепла при зварюванні - рухливе точкове джерело, що діє на поверхні напівбезмежного тіла (РТД); рухливе лінійне джерело в пластині (РЛД); потужнешвидкорухоме точкове джерело, що діє на поверхні напівбезмежноготіла (ПШТД); потужнешвидкорухоме лінійне джерело теплоти в пластині (ПШЛД). Кожний з варіантів завдання відрізняється режимами зварювання.

РТД–точковеджерело постійної потужності, що рухається прямолінійно з постійною швидкістю по поверхні напівбезмежноготіла. Схему ПТД приймають для дослідження температурних полів при ручному дуговому зварюванні масивних виробів.

РЛД– лінійне джерело постійної потужності, що рухається з постійною швидкістю в пластині. Схему ПЛД застосовують для дослідження температурних полів при ручному дуговому зварюванні пластин встик за один прохід.

ПШТД–потужнешвидкорухаючеточковеджерело постійної потужності, що рухається прямолінійно з постійною швидкістю по поверхні напівнескінченного тіла. Схему ПШТД застосовують для дослідження температурних полів при автоматичному дуговому зварюванні масивних виробів.

ПШЛД– потужнешвидкорухоме лінійне джерело постійної потужності, що рухається прямолінійно з постійною швидкістю в пластині. Схему ПБЛД застосовують для дослідження температурних полів при автоматичному дуговому зварюванні пластин встик за один прохід.

4.5 Розрахунок розподілу температур уздовж осі шва

Температурне поле в процесі зварювання може бути несталим, тобто коли температура окремих точок тіла безупинно підвищується (стадія теплонасичення характерна для початку процесу зварювання) і сталої, коли температура точок у рухливій системі координат перестає змінюватися в часі (граничний стан). Останнє досягається після тривалої дії джерела теплоти. Температура граничного стану процесу поширення теплоти для ПТД, віднесена до рухливих координат *X,B,Z,* пов'язаним із джерелом, виражається співвідношенням:

$$T_{пр} = \frac{q}{2\pi\lambda R}\exp\left[-\frac{V}{2a}(X+R)\right] \qquad (1)$$

де $q = \eta_U I_{CB} U_q$ - ефективна теплова потужність джерела, Вт; η_U - ефективний КПД процесу нагрівання металу, що зварюється; I_{CB} -сила зварювального струму, А; Uq- спадання напруги на дузі, В; λ - коефіцієнт теплопровідності, *Вт/см·град*чи*Дж/см·с град*; R - просторий радіус-вектор, відстань до точки, що розглядається відпочатку рухомої системи координат, $R^2 = x^2 + y^2 + z^2$, см; V - швидкістьзварювання, см/с; $a = \lambda/c\rho$ –коефіцієнттемпературопровідности см^2 /с; $c\rho$ - об'ємна теплоємність металу, *Дж/см*^{3}*·град*.

При розрахунку розподілу температур на поверхні виробу уздовж осі шва X - X, тобто залежності $T = f(x)$, координати Yі Zдорівнюють до нуля. При цьому враховують, що для точок, розташованих поперед дуги (позитивна піввісь координата X - позитивна, а для точок, що лежать на осі за дугою, що рухається, - негативна). Негативне значення координати X приводить до спрощення формули (1). Вона приймає вигляд:

$$T_{пр} = \frac{q}{2\pi\lambda R} \qquad (2)$$

По максимальних температурах розрахунок звичайно доводять до температури плавлення. Усередині ванни не можна

розраховувати температурні поля по формулі (1). При наближенні до місця дії джерела (за схемою воно зосереджено у точці) температура тіла швидко росте й у точці$R=0$ і $T_{ПР}\to\infty$.

Результати розрахунку необхідно представити в табличному виді й на малюнку, виконаному на міліметровому папері з повідомленням масштабів та вказівкою точок, по яких будується графік. Для якісної побудови графіка необхідно, щоб між $T_{ПЛ}$і 200^0С на галузі охолодження було не менш 10 значень температури, на галузі нагрівання - 5.

Температура граничного стану процесу поширення теплоти для РЛД в рухливій системі координат описується рівнянням:

$$T_{пр} = \frac{q}{2\pi\lambda\delta}\exp\left[-\frac{VX}{2a}K_0(U)\right] \qquad (3)$$

де δ - товщина пластини, щозварюється,см; $K_o(U)$ - функція Бесселя від мнимого аргументу другого роду нульового порядку;

$$U = r\sqrt{\frac{V^2}{4a^2}+\frac{b}{a}}, \qquad r = x^2 + y^2,$$

де r - плоский радіус-вектор елемента рухливого поля від початку координат, см; $b=2\alpha/c\rho\delta$ - коефіцієнт температуровіддачі пластини, $с^{-1}$; α- коефіцієнт повної (радіаційної таконвективної) тепловіддачі, *Дж/см*^{2}*·с · град*; $a=\lambda/c\rho$ – коефіцієнттемпературопровідності,см^2 /с.

Основні закономірності в розрахунку розподілу тепла відповідають описаному в схемі РТД. Для визначення функції Бесселя достатньо обчислити U і по ньому, користуючись таблицею (Додаток 2), знайти значення функції.

Для ПШТД рівняння граничного стану процесу поширення тепла має вигляд:

$$T_{ПР} = \frac{q}{2\pi\lambda vt}\exp-\left(y^2+z^2\right)/4at \qquad (4)$$

де t- час із моменту перетинання джерелом тепла площини YOZз

розглянутою точкою, с.

Схема ПШТД розроблена для специфічного температурного поля, що наступає при пропорційному збільшенні потужності дуги й швидкості зварювання при $y \to \infty$, $V \to \infty$.Попереду джерела поширенням тепла можна зневажити, тому що внаслідок високої швидкості переміщення тепло не поширюється. Ізотерми витягнуті й у більшій своїй частині паралельні одна одній. Для схеми ПШТД характерний тепловідвід перпендикулярно осі шва. На практиці навіть при дуже більших швидкостях тепло поширюється перпендикулярно тільки поблизу шва, тому розрахунки температур по рівнянню (4) більше точні для крапок, що лежать поруч зі швом. Рівняння може використовуватися для технічних розрахунків, коли швидкість *V*, хоча й не прагне до нескінченності, але досить велика. У цьому випадку застосовують заміну:

$$t = x / v,$$

тоді рівняння (4) приймає наступний вигляд:

$$T_{ПР} = \frac{q}{2\pi\lambda x} \exp r^2 v / 4ax \qquad (5)$$

$$r^2 = y^2 + z^2$$

Граничний стан процесу поширення теплоти при нагріванні пластини ПШЛД описується рівнянням:

$$T_{ПР} = \frac{q}{V\delta\sqrt{4\pi\lambda c\rho t}} e^{-\frac{y^2}{4at}bt} . \qquad (6)$$

У цьому випадку розрахунки провадять аналогічно схемі ПШТД.

4.6 Розрахунок розподілу температур на поверхні виробу по прямих, перпендикулярним осі шва

Розрахунок розподілу температур на поверхні виробу по

прямим паралельним осі ***y*** ведеться для різних значень ***x***по рівняннях (1) для РТД, (3) для РЛД, (4) для ПШТД, (6) для ПШЛД. Основні закономірності в розрахунку розподілу тепла відповідають описаному вище розрахунку розподілу тепла уздовж осі *X*.

Результати розрахунку також варто представити в табличному вигляді й на малюнку, виконаному на міліметровому папері з дотриманням масштабів і вказівкою точок, по яких будується графік. Для якісної побудови потрібно брати не менш 10 значень ***x***, починаючи з нуля (***x***=0; 0,5; -0,5; 1; -1 і т.д.).

4.7 Побудова ізотерм на поверхні виробу

Температурне поле граничного стану симетрично щодо осі *OX*. Ізотерми на поверхні *XOУ* являють собою овальні криві, які згущені попереду джерела теплоти й розсунуті за ним. У пластині тепловий потік більше стиснутий, тому ізотерми ще більш витягнуті, чим у напівбезмежномутілі.

При наявності розподілу температури по прямих, паралельним осі *Y*, при різних значеннях координати ***x***графічною побудовою можна одержати ізотерми температурного поля. Для цього на графіках розподілу, через вісь температури проводять січну, паралельну осі *У*. Точкиперетинання її із кривими розподілу зносять на вісь *Y*, одержуючи значення координати ***y***будь-якої температури при заданих значеннях координати ***x***. Отримані в такий спосіб значення координат використовують для побудови температурного поля у вигляді ізотерм. Слід зазначити, що для якісної побудови ізотерми необхідно, щоб кількість крапок становило 8-1 0 . Якщо їх менше, варто доповнити розрахункові дані проміжними точками при нових значеннях координати ***x***.

4.8 Розрахунок та побудова термічного циклу даної точки

Для побудови термічного циклу точку виробу необхідно знати її температуру в будь-який момент часу, починаючи з *t*=0. Оскільки в рівнянні (1) температурного поля параметра часу в явно вираженій формі не має, його розраховують по рівнянню:

$$t = \frac{x_0 - x}{V}, \qquad (7)$$

де x_0 - абсциса заданої точки в нерухливій (пов'язаної з тілом) системі координат, початок якої сполучається з положенням джерела в момент t=0; x- абсциса заданої точки в рухливій системі координат.

Виразивши з (7) абсцису xчерез час tі підставивши її значення в (1), одержують рівняння для розрахунку термічного циклу:

$$T(t) = \frac{q}{2\pi\lambda\sqrt{(x_0 - vt)^2 + y^2 + z^2}} \exp\left[-\frac{v}{2a}\left((x_0 - vt)^2 + y^2 + z^2\right)^{1/2} + (x_0 - vt)\right]. \qquad (8)$$

Задаючи значення абсциси x_0, координат yи z, а також послідовно, з певним кроком, задаючи значення часу по рівнянню (8), одержують значення температури для побудови термічного циклу.

У рівнянні (3), для РЛД, теплоти параметра часу немає в явно вираженій формі, його розраховують по рівнянню (7). Виразивши з (7) абсцису xчерез час tі підставивши її значення в (8), одержують рівняння для розрахунку термічного циклу:

$$T(t) = \frac{q}{2\pi\lambda\delta} \exp\left[-\frac{V(x_0 - vt)}{2a}\right] K_0\left\{(x_0 - vt)^2 + y^2 - \sqrt{\frac{v^2}{4a^2} + \frac{b}{a}}\right\}.$$

Значення температури розраховують як для ПТД теплоти (див. вище), термічні цикли для ПШТД та ПШЛД розраховують безпосередньо за рівняннями (4) і (6).

Результати розрахунку звести в таблицю. За результатами розрахунку побудувати криву зміни температури заданої точки залежно від часу, що пройшов після перетинання центром дуги поперечного перерізу, в якому перебуває дана точка.

4.9 Визначення температури точки у процесі теплонасичення та вирівнювання температури

Температуру *T(t)* даної точки рухливого температурного поля

в процесі теплонасичення можна представити як добуток температури $T_{ПР}$тої ж крапки в граничному стані на коефіцієнт теплонасичення$\psi(t)$, *що* залежить від часу:

$$T(t)=\Psi(t)\cdot T_{ПР} \tag{9}$$

Коефіцієнт теплонасичення зростає від нуля в початковий момент до одиниці в граничному стані. Зростання його з часом характеризує інтенсивність процесу насичення теплом даної точки тіла.

Величина коефіцієнта $\psi(t)$ залежить не тільки від часу, але й від відстані розглянутої крапки від джерела тепла $\psi(t)=F(R,t)$.

При розрахунках коефіцієнти теплонасиченняψвизначають по номограмах (Додаток 3), побудованим залежно від безрозмірних критеріїв τ, пропорційних часу t, і критеріїв ρ, пропорційних відстані розглянутої крапки від джерела тепла R.

У випадку точкового джерела теплоти номограма для визначення коефіцієнта теплонасиченняψ_3побудована залежно від критеріїв:

$$\rho_3=\frac{VR}{2a}, \qquad \tau_3=\frac{V^2t}{4a} \tag{10}$$

У випадку лінійного джерела теплоти номограма для визначеннякоефіцієнта теплонасиченняψ_3 побудована залежно від критеріїв:

$$\rho_2=\frac{Vr}{2a}\sqrt{1+\frac{4ba}{V^2}}, \qquad \tau_2=\frac{V^2t}{4a}\left(1+\frac{4ba}{V^2}\right). \tag{11}$$

Порядок розрахунку температур у період теплонасичення для точкового та лінійного джерел складається у відшуканні миттєвих координат точки, часу теплонасичення, температури граничного стану по формулах (1), (3) та визначення ψ по номограмі для просторового поля в напівбезмежному тілі або пластині. Після цього температуру в період теплонасичення визначають по формулі (9). Час теплонасичення – $t=l/v$, де l - довжина шва до моменту розрахунку.

Розрахунок температури в періоді вирівнювання визначають

шляхом використання фіктивного джерела теплоти та стоку теплоти. Припускають, що джерело теплоти припинило рух і перестало діяти, але фіктивне джерело теплоти тої ж потужності продовжує свій рух з тією же швидкістю, разом з ним рухається фіктивний стік теплоти такої ж потужності, як джерело. Джерело теплоти та стік теплоти будуть взаємно знищуватися.

Приріст температури точки визначається як різниця двох приростівтемператур: збільшення температури від джерела теплоти $\Delta T_И$та збільшення температури від стоку теплоти ΔT_c:

$$\Delta T = \Delta T_И - \Delta T_C$$

Обидваприроститемператури можна виразити через збільшення температури граничного стану й відповідні коефіцієнти теплонасичення:

$$\Delta T = \Delta T_{ПР}[\Psi(t) - \Psi(t_Ф)] \qquad (12)$$

Порядок розрахунку температур у період вирівнювання зводиться у відшуканні миттєвих координат точки з урахуванням дії фіктивного джерела теплоти, часу дії дійсного й фіктивного джерел теплоти, температури граничного стану відповідно по формулах (1) і (3) безрозмірних критеріїв відстані й часу для джерела теплоти й стоку теплоти по формулах (10), (11) і визначають по номограмах для просторового поля в напівбезмежному тілі або в пластині коефіцієнти теплонасиченнямψ_Iдля щирого джерела теплоти таψ_C-для стоку теплоти.

Приріст температури точки, через деякий час після закінчення зварювання (наплавлення), визначиться по рівнянню (12).

4.10 Розрахунок максимальних температур у поперечному перерізі зони термічного впливу (ЗТВ)

Для розрахунку максимальних температур, що досягаються окремими крапками ЗТВ приймають для спрощення джерела тепла, що швидко рухаються (відповідно точкові або лінійні), і розрахунок проводять по наступних формулах:

1) потужнешвидкорухоме точкове джерело теплоти наповерхні напівбезмежноготіла:

$$T_{\max} = \frac{2 \cdot 0{,}368 \cdot q}{\pi v c \rho r^2}, \qquad (13)$$

$$r^2 = y^2 + z^2;$$

2) потужне швидкорухоме лінійне джерело теплоти:

$$T_{\max} = \frac{0{,}468 \cdot q}{v c \rho \delta 2y}\left(1 - \frac{by^2}{2a}\right) + T_н, \qquad (14)$$

де $T_н$ - початкова температура тіла, К; *в* - відстань від даної точки до осі шва.

Результати розрахунку слід представити у табличному виді та на малюнку з дотриманням масштабу й вказівкою крапок, по яких будується графік.

4.12.Визначення довжини окремих ділянок ЗТВ у даних умовах (ділянки неповного розплавлювання, перегріву, нормалізації, неповній перекристалізації, рекристалізації та старіння)

Провівши по формулі розрахунок розподілу максимальних температур уздовж осі *У*та сполучивши на одному малюнку отримані дані та діаграму стану «залізо - вуглець» по осі температур, визначають довжину найбільш характерних ділянок ЗТВ. Розміри зон визначають два рази: по кількості вуглецю в сталі, а також по еквівалентному втримуванню вуглецю:

$$C_Э = (C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + V}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2}),$$

де *C, Mn, V* - процентний вміст елемента в сталі. Утримування міді враховують при Cu≥0,5 %, а фосфору при P≥0,05 %.

4.12 Визначення миттєвої швидкості охолодження при заданій температурі та порівняння її із припустимою швидкістю для даної марки сталі

Миттєву швидкість охолодження при даній температурі *T* визначають використовуючи теорію потужних

швидкорухомихджерел теплоти без обліку тепловіддачі. Швидкості охолодження визначають тільки для осі шва через їхню незначну відмінність від швидкостей охолодження біляшовнихзон. Швидкість охолодження визначають по формулі при наплавленні валика на масивне тіло:

$$\omega = 2\pi\lambda \frac{(T - T_н)^2}{q / \nu} ; \quad (15)$$

при однопрохідному зварюванні пластин встик:

$$\omega = -2\pi\lambda c\rho \frac{(T - T_н)^3}{q / \delta^2} , \quad (16)$$

де $T_н$- початкова температура виробу або температура супутнього підігріву.

Мінімальна швидкість охолодження, при якій мартенсит буде повністю виключений, визначається по формулі:

$$\omega_{ДОП} = \frac{T_1 - T_м}{2 \cdot 1{,}5 t_{\min}} , \quad (17)$$

де T_1- температура, що відповідає точці початку розпаду аустеніту A_{11}; T_M - температура, що відповідає мартенситній точці M_M, позначає початок мартенситних перетворень; t_{MIN}- час мінімальної стабільності аустеніту.

T_1, T_M, t_{min}знаходять по діаграмі ізотермічного розпаду аустеніту для даної марки сталі. Швидкість охолодження визначають по формулах (15) або (16) та порівнюють її із припустимою швидкістю охолодження. Якщо $\omega_{ОХЛ}$буде більше $\omega_{ДОП}$,то можлива поява гартівних структур, що призводе до трещіноутворення.

4.13 Визначення мінімальної температури попереднього підігріву, що дозволяє уникнути появи гартівних структур

Температуру попереднього підігріву $T_н$визначають у випадку, якщо $\omega_{ОХЛ}$буде більше, ніж $\omega_{ДОП}$по формулах (15) або (16).

4.14 Висновки

Приводяться короткі результати курсової роботи.

4.15 Список літератури

Оформлюється відповідно до вимог ДСТ 7.32-2001.У якості прикладу оформлення списку літератури можна використовувати список літератури, що рекомендується, який наведений у справжніх методичних вказівках.

4.16 Додатки

У додатках містяться необхідні номограми, функція Бесселя від мнимого аргументу другого роду нульового порядку таінш. матеріали.

5. ВКАЗІВКИ ПО ВИКОНАННЮ ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ

Обсяг графічної частини становить 5 - 6 аркушів формату А4 або А3. Зміст графічної частини вказуєтьсяв завданні. Нижче наведений варіант переліку аркушів графічної частини:

1) графік розподілу температур уздовж осі шва;

2) графік розподілу температур на поверхні виробу по прямих, перпендикулярним осі шва;

3) ізотерми на поверхні виробу;

4) термічний цикл точки;

5) розподіл максимальних температур у поперечному перерізі ЗТВ;

6) будова зони термічного впливу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Багрянский К.В. и др. Теория сварочных процессов / Багрянский К.В., Добротина З.А., Хренов К.К. – М.: Высшая школа,

1976. – 424 с.

2. Петров Г.Л. Теория сварочных процессов / Г.Л. Петров, А.С. Тумарев – М.: Высшая школа, 1977. – 392 с.

3. Теоретические основы сварки/Под. Ред. В.В.Фролова. - М.: Высшая школа, 1970. – 529 с.

4. Теория сварочных процессов / В.Н.Вольченко, В.М.Ямпольский, В.А.Винокуров и др.: Учеб.для вузов по спец. «Оборуд. и технология сварочного производства» // Под ред. В.В. Фролова М.: Высш. шк., 1988. – 559 с.

5. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке / Н.Н.Рыкалин: Учеб.пособие для машиностроительных вузов М.: Машгиз., 1951. – 430 с.

6. Михеев М.А., Михеева И.М. Краткий курс теплопередачи / М.А.Михеев, И.М.Михеева: Учеб.длянеэнергет. спец. Высш. техн. учебн. заведений. М; Л.: Госэнергоиздат, 1961. –289 с.

Додаток 1

Міністерство освітиінауки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра технології металів і матеріалознавства

КУРСОВА РОБОТА

по дисципліні «Теорія процесів зварювання»

Виконав ст. гр. МС-21 Петренко І.В.

Керівник д.т.н. Лузан С.А.

Харків - 2014

Додаток 2

Функція Бесселя від мнимого аргументу другого роду нульового			
U	$10K_0(U)$	U	$10^2K_0(U)$
0,00	28,643	3,80	1,3966
0,10	24,741	3,90	1,1924
0,20	17,527	U	$10^3K_0(U)$
0,30	13,725	4,00	11,160
0,40	11,145	4,10	9,9800
0,50	9,2442	4,20	8,9275
0,60	7,7752	4,30	7,9880
0,70	6,6052	4,40	7,1491
0,80	5,6535	4,50	6,3999
0,90	4,8673	4,60	5,730
1,00	4,2102	4,70	5,132
1,10	3,6560	4,80	4,597
1,20	3,1851	4,90	4,118
1,30	2,7825	5,00	3,691
1,40	2,4366	5,10	3,308
1,50	2,1381	5,20	2,951
U	$10^2K_0(U)$	5,30	2,659
		5,40	2,384
1,60	18,795	5,50	2,1387
1,70	16,550		
1,80	14,593	U	$10^4Ko(U)$
1,90	12,885	5,60	19,185
2,00	11,389	5,64	18,370
2,10	10,078	5,70	17,212
2,20	8,9269	5,74	16,482
2,30	7,9140	5,80	15,444
2,40	7,0217	5,84	14,790
2,50	6,2348	5,90	13,860
2,60	5,5398	5,94	13,273
2,70	4,9255	6,00	12,440
2,80	9,255	6,04	11,914
2,90	4,3820	6,10	11,167
3,00	3,9006	6,14	10,695
3,10	3,4740	6,20	10,025
3,20	3,0955	6,24	9,6023
3,30	2,7595	6,30	9,0014
3,40	2,4611	6,34	8,6221
3,50	2,1958	6,40	8,0831
3,60	1,9599		

Продовження додатка 2

U	$10^4K_0(U)$	U	$10^5Ko(U)$
6,54	6,9540	8,64	7,4395
6,60	6,5202	8,70	6,9827
6,64	6,2463	8,74	6,6939
6,70	5,8570	8,80	6,2831
6,74	5,6112	8,84	6,0234
6,80	5,2618	8,90	5,6540
6,84	5,0411	8,94	5,4204
6,90	4,7275	9,00	5,0881
6,94	4,5295	9,04	4,8781
7,00	4,2480	9,10	4,5792
7,04	4,0701	9,14	4,3902
7,10	3,8174	9,20	4,1214
7,14	3,6577	9,24	3,9514
7,20	3,4308	9,30	3,7096
7,24	3,2874	9,34	3,5567
7,30	3,0836	9,40	3,3391
7,34	2,9549	9,44	3,2015
7,40	2,7718	9,50	3,0058
7,44	2,6562	9,54	2,8820
7,50	2,4918	9,60	2,7059
7,54	2,3879	9,64	2,5945
7,60	2,2402	9,70	2,4360
7,64	2,1469	9,74	2,3358
7,70	2,0142	9,80	2,1932
7,74	1,9304	9,84	2,1030
7,80	1,8111	9,90	1,9747
7,84	1,7358	9,94	1,8935
7,90	1,6287	10,00	1,7780
7,94	1,5610	10,04	1,70494
U	$10^5K_0(U)$	10,10	1,6009
8,00	14,647	10,14	1,535296
8,04	14,039	10,20	1,441676
8,10	13,173	10,24	1,382457
8,14	12,627	10,30	1,298263
8,20	11,849	10,34	1,245013
8,24	11,357	10,40	1,169143
8,30	10,658	10,44	1,121234
8,34	10,216	10,50	1,053061
8,40	9,588	10,54	1,009864

Продовження додатка 2

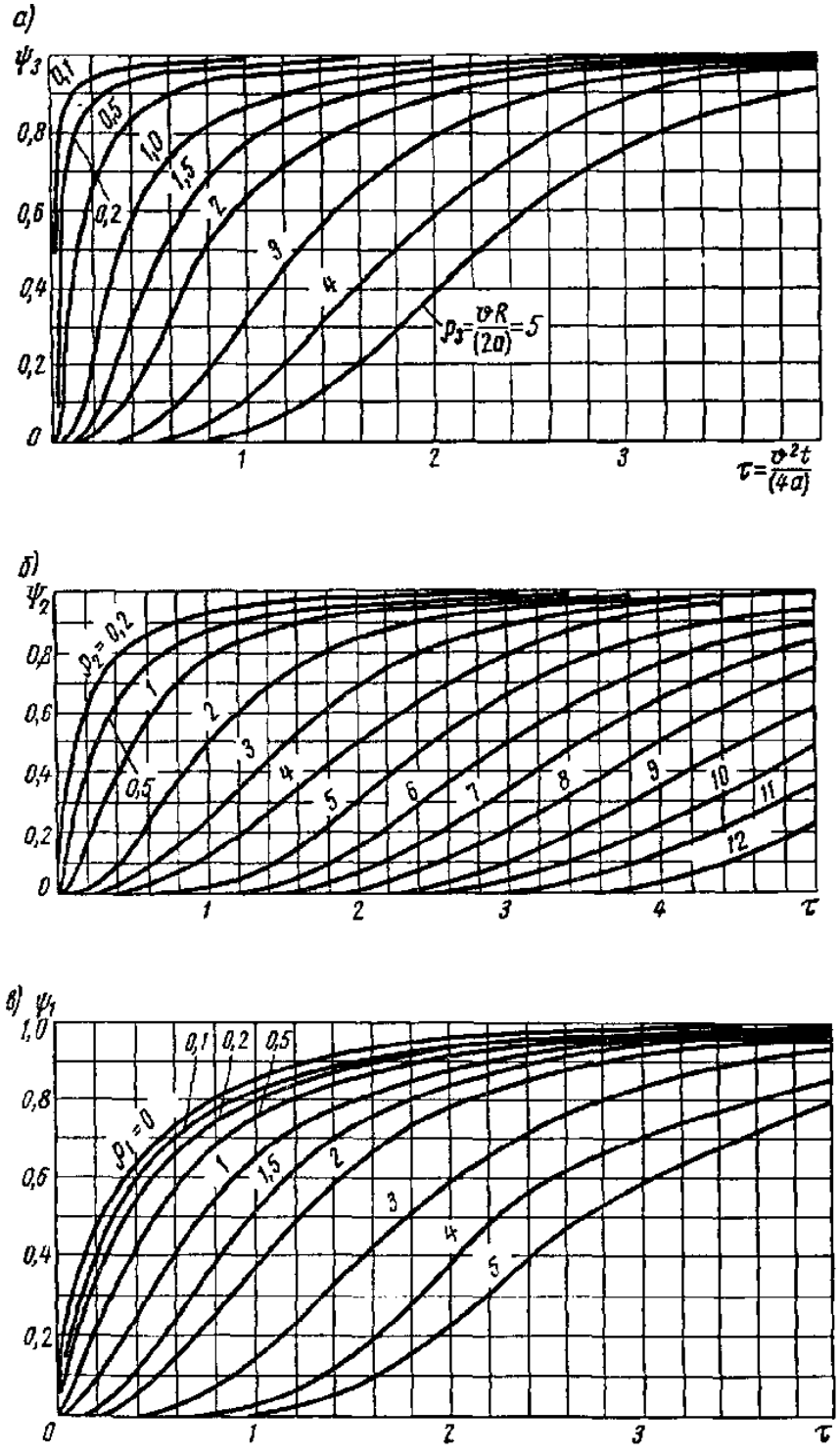
U	$10^6 K_0(U)$	U	$10^7 K_0(U)$
10,74	8,191703	12,90	8,6362
10,80	7,693760	12,94	8,2844
10,84	7,379601	13,00	7,7849
10,90	6,930353	13,04	7,4676
10,94	6,647610	13,10	7,0167
11,00	6,242344	13,14	6,7324
11,04	5,987875	13,20	6,3256
11,10	5,623450	13,24	6,0680
11,14	5,394114	13,30	5,7020
11,20	5,065818	13,34	5,4711
11,24	4,860043	13,40	5,1412
11,30	4,564734	13,44	4,9323
11,34	4,377809	13,50	4,6354
11,40	4,1123	13,54	4,4469
11,44	3,9443	13,60	4,1783
11,50	3,7055	13,64	4,0087
11,54	3,5531	13,70	3,7668
11,60	3,3379	13,74	3,6144
11,64	3,2013	13,80	3,3961
11,70	3,0081	13,84	3,2594
11,74	2,8856	13,90	3,0631
11,80	2,7104	13,94	2,9390
11,84	2,5997	14,00	2,7615
11,90	2,4423	14,04	2,6493
11,94	2,3427	14,10	2,4899
12,00	2,2008	14,14	2,3889
12,04	2,1112	14,20	2,2451
12,10	1,9833	14,24	2,1540
12,14	1,9024	14,30	2,0244
12,20	1,7874	14,34	1,9424
12,24	1,7145	14,40	1,8256
12,30	1,6109	14,44	1,7516
12,34	1,5452	14,50	1,6462
12,40	1,4517	14,54	1,5794
12,44	1,3927	14,60	1,4846
12,50	1,3085	14,64	1,4244
12,54	1,2551	14,70	1,3338
12,60	1,1791	14,74	1,2846
12,64	1,1313	14,80	1,2073

Продовження додатка 2

U	$10^7 K_0(U)$	U	$10^8 K_0(U)$
15,00	9,8190	15,50	5,8606
15,04	9,4216	15,54	5,6235
15,08	9,0415	15,60	5,2857
15,10	8,8561	15,64	5,0721
15,14	8,4980	15,70	4,7674
15,20	7,9875	15,74	4,5757
15,24	7,6639	15,80	4,3008
15,30	7,2037	15,84	4,1265
15,34	6,9131	15,90	3,8799
15,40	6,4968	15,94	3,7228
15,44	6,2345	16,00	3,4997

Додаток 3

Номограми для визначення коефіцієнта теплонасичення



а – ψ_3 для точкового джерела в напівнескінченому тілі; *б* – ψ_2 для лінійного джерела в нескінченній пластині; *в* – ψ_1 для плоского джерела в нескінченному стрижні

Навчальневидання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсової роботи
по дисципліні «Теорія процесів зварювання»
для студентів напрямку підготовки «Зварювання»,
освітньо-кваліфікаційний рівень – 6.050504 «Бакалавр»

Укладач: ЛУЗАН СергійОлексійович

Відповідальний за випуск В.І. Мощенок

Редактор

План 2015, поз.

Підписано до друку_____
Умовн. друк. арк. 1,0.
Замовлення №_____

Формат 60×84 1/16
Обл. вид. Арк.
Тираж 50 прим. Цінадоговірна.

Видавництво ХНАДУ, 61002, м. Харків – МСП, вул. Петровського, 25

Свідоцтво державного комітетуінформаційноїполітики, телебачення та радіомовленняУкраїни про внесеннясуб'єктавиробничоїсправи до державного реєструвидавців, виробників і розповсюджувачіввидавничоїпродукції.
Серія ДК № 407 від 9.04.2001 р.