

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсового проекту
з дисципліни «Теорія процесів зварювання» для студентів освітньої
програми „Технології та устаткування зварювання” всіх форм навчання

2017

Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Теорія процесів зварювання» для студентів освітньої програми „Технології та устаткування зварювання” всіх форм навчання / Укл.: О.Є. Капустян, С.О. Шумікін. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017 – 26 с.

Укладачі: О.Є. Капустян, старш. викладач;

С.О. Шумікін, канд. техн. наук, доцент.

Рецензент: М.Ю. Осіпов, канд. техн. наук, доцент

Редактор: І.П. Аверченко

Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено

на засіданні кафедри ОТЗВ

Протокол № 8 від 27.03.2017

Рекомендовано до видання

НМК ІФФ

Протокол № 8 від 15.04.2017

ЗМІСТ

1 МЕТА І ЗАВДАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ	4
2 ЗАВДАННЯ НА ПРОЕКТ	5
3 ОРГАНІЗАЦІЙНІ ВКАЗІВКИ	5
4 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗДІЛІВ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ	6
4.1 Розрахунки та побудова температурного поля при зварюванні листів встик	6
4.1.1 Пластина.....	6
4.1.2 Плоский шар	10
4.1.3 Напівнескінченне тіло	12
4.1.4 Розрахунок температурного поля на комп'ютері.....	14
4.2 Визначення одноосних поздовжніх напружень при дуговому зварюванні листів встик з використанням графорозрахункового методу.....	14
Г.О. Ніколаєва.....	14
5 ВКАЗІВКИ ЩОДО ОФОРМЛЕННЯ І ЗАХИСТУ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ	19
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	20
Додаток А Індивідуальні завдання для теоретичної частини курсового проекту	21
Додаток Б Індивідуальні завдання для практичної частини курсового проекту	23
Додаток В Блок-схема програми розрахунку температурних полів у пластині, плоскому шарі та напівнескінченному тілі	25

1 МЕТА І ЗАВДАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Метою курсового проектування є придбання практичних навиків розрахунків температурного поля та визначення напружень при зварюванні, заглиблення та узагальнення теоретичних знань, одержаних при вивченні дисципліни.

Вивчення курсу "Основи теорії зварювання", сприяє формуванню теоретичного фундаменту для засвоєння дисципліни зварювального профілю. Розуміння суті явищ, які відбуваються при зварюванні плавленням, кристалізації та послідовних структурних перетворень у швах та колошовних зонах допоможе студентам навчатися керувати процесами, які визначають одержання фізичних, механічних та інших властивостей зварних з'єднань на потрібному рівні.

В процесі цієї роботи студент повинен навчитися:

- обирати і науково обґрунтовувати прийняті проектні рішення;
- застосовувати сучасні, найбільш ефективні методи розрахунку і технічні засоби;
- користуватися спеціальною науковою і довідковою літературою, діючими стандартами та патентними матеріалами.

Велику роль у глибокому засвоєнні матеріалу грає самостійна проробка студентами підручників, навчальних посібників, монографій за спеціальністю у процесі виконання курсового проекту. Проект включає теоретичну частину, інженерні задачі розрахунків і побудови температурних полів, визначення деформацій та напружень при зварюванні сталей.

Курсове проектування є заключним етапом вивчення студентами дисципліни.

Придбаний студентом досвід є основою для дипломного проектування та конструкторської праці.

2 ЗАВДАННЯ НА ПРОЕКТ

Завдання на курсовий проект розробляється керівником проекту. Теоретична частина виконується згідно з темою варіанта (Додаток А). Практична частина виконується згідно з темою варіанта (Додаток Б).

3 ОРГАНІЗАЦІЙНІ ВКАЗІВКИ

Курсовий проект виконується і захищається в III семестрі поетапно і в строки означені у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 - Графік і стадії курсового проектування

№ , п / п	Назва етапів курсового проекту	Термін виконання етапів проекту, тижнів
1.	Оформлення титульного листа та листа завдання.	1
2.	Вступ	2
3.	Теоретична частина	3-4
4.	Практична частина 1. Розрахунки температурного поля при зварюванні листів встик	5-6
5.	Практична частина 2. Визначення одноосних поздовжніх напружень при дуговому зварюванні листів встик з використанням графорозрахункового методу Г.О. Ніколаєва	7-8
6.	Оформлення графічної частини	9-10
7.	Висновки, перелік посилань, додатки, реферат, зміст	11
8.	Здавання готового проекту на перевірку керівнику. Виправлення помилок та доробка за необхідністю	12
9.	Захист проекту	13-14

4 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗДІЛІВ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

4.1 Розрахунки та побудова температурного поля при зварюванні листів встик

В залежності від товщини елементів металоконструкції, які зварюються, розрізняють три основних випадки розповсюдження теплоти рухомою зварювальною дугою - в нескінчену пластину, плоский шар, напівнескінчене тіло.

Випадок 1. Пластина – Зварювання виконується за один прохід з повним проплавленням всієї товщини елемента. По всій товщині елемента встановлюється однакова температура нагрівання біля зварювальної дуги.

Випадок 2. Плоский шар – Зварювання виконується в декілька приходів або здійснюється наплавлення на елемент конструкції с частковим проплавленням його товщини. При цьому поряд зі зварювальною дугою температура нагрівання розподіляється по товщині нерівномірно і у точках з однаковими координатами X та Y по обмежуючим товщину елемента поверхням, температура нагріву значно відрізняється.

Випадок 3. Напівнескінченне тіло - Зварювання або наплавлення виконується на масивному елементі, температурне поле загасає в товщині метала.

Для кожного випадку розрахунок температурного поля виконується по відповідним формулам [1, 2].

4.1.1 Пластина

Для випадку пластини граничну температуру знаходять за формулою:

$$T_{ep} = \frac{q}{2p l d} \cdot \exp\left(\frac{VX}{2a}\right) \cdot K_o(u) \quad (4.1)$$

$$q = \eta UI.$$

де q – ефективна теплова потужність джерела тепла, Вт;
 η - ефективний ККД, який являє собою відношення кількості тепла, введенного дугою в метал до теплового еквіваленту потужності дуги. Для плавкого електроду відкритою дугою $\eta = 70-85 \%$;
 для плавкого електроду під флюсом $\eta = 85-95 \%$;
 для не плавкого вугільного електроду $\eta = 50-70 \%$;
 U - напруга, В;
 I - сила струму, А;
 λ - коефіцієнт теплопровідності; Вт/см °С (додаток Б);
 δ - товщина листа, см;
 V - швидкість зварювання, см/с;
 x, y - координати, см;
 $K_0(u)$ - функція Бесселя (значення математично табульовані в таблицях бесселевих функцій) від аргумента u :

$$u = \left(r \sqrt{\frac{V^2}{4a^2} + \frac{b}{a}} \right)$$

r - плоский радіус-вектор рухомого температурного поля, см;

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

a - коефіцієнт температуропровідності, характеризує теплоенергійні властивості тіла, см²/с (додаток Б);

$$a = \lambda / (c \cdot \rho)$$

b - коефіцієнт температуровіддачі, враховуючий інтенсивність зниження температури внаслідок тепловіддачі з поверхні листа в оточуюче середовище, 1/с (двійка у чисельнику показує, що тепловіддача йде з двох площин $z = 0$ та $z = \delta$);

$$b = \frac{2a}{crd}$$

α - коефіцієнт тепловіддачі, який характеризує інтенсивність взаємодії поверхні листа та оточуючого середовища, Вт/см² °С;

c - теплоємність, $\frac{Дж}{кг \cdot ^\circ C}$;

ρ - густина, кг/м³;

Для періоду вирівнювання теплонасичення температур обчислювання виконують за формулою:

$$T_B = \Psi_2(\rho_2; \tau_2) T_{гр} \quad (4.2)$$

$$\tau_2 = \tau(v^2/4a + b)$$

$$r_2 = r \sqrt{\frac{V^2}{4a^2} + \frac{b}{a}}$$

$\Psi_2(\rho_2; \tau_2)$ - коефіцієнт теплонасичення для лінійного джерела тепла у нескінченній пластині, (рис. 4.1);

τ_2 - безрозмірний критерій часу;

ρ_2 — безрозмірний критерій відстані.

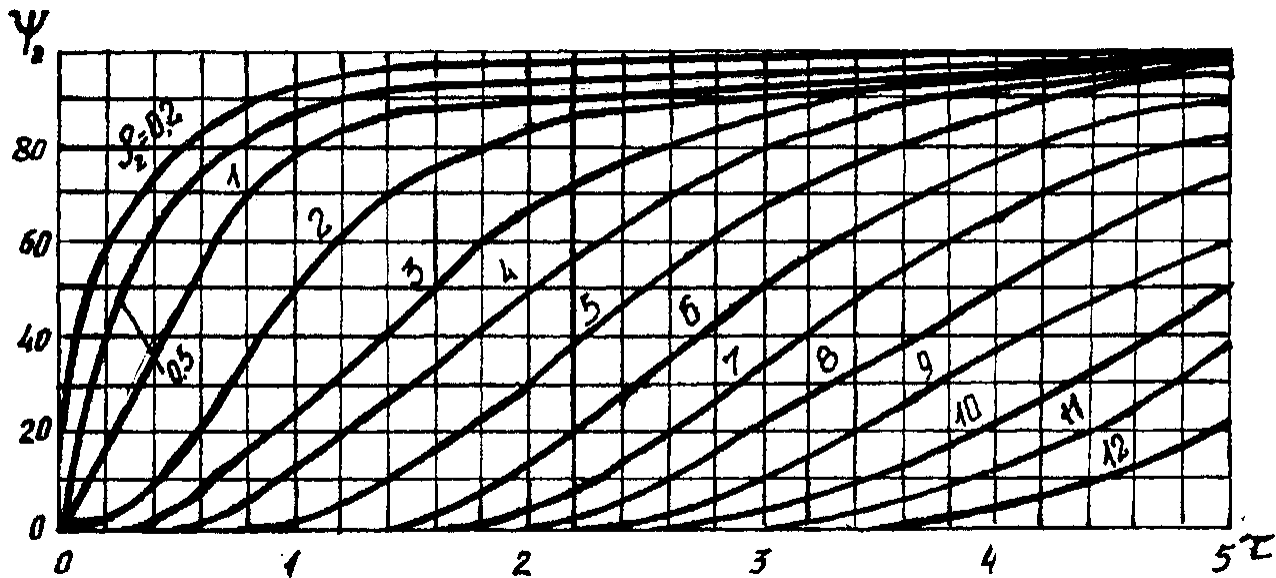


Рисунок 4.1 — Номограма для визначення коефіцієнта теплонасичення лінійного джерела у нескінченній пластині [1,2].

4.1.2 Плоский шар

Для другого випадку, розглядається зварювальна дуга як крапкове джерело теплоти, діючий на плоскості елемента, температурне поле поза віссю OZ на верхній $Z = 0$ и нижній $Z = \delta$ площинах описують формулою:

$$T(r, x, z) = m(r, z) * T(r, z)_{пред}$$

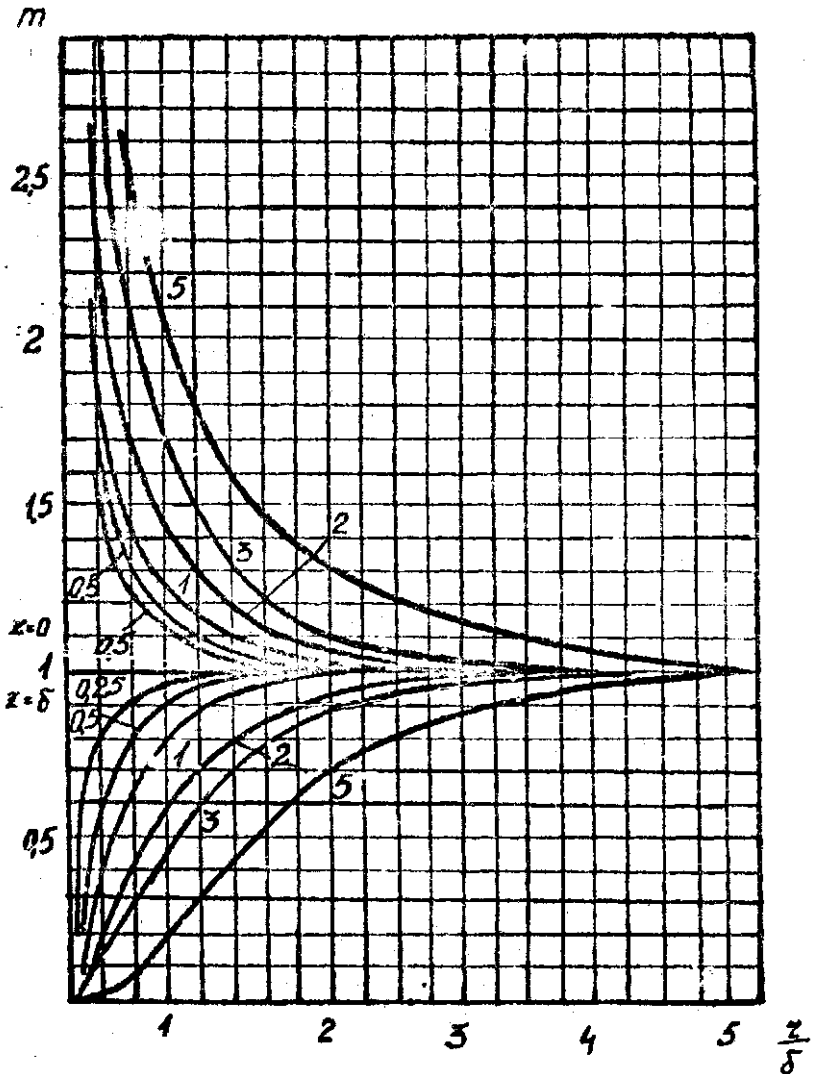
$$T(r, z)_{пред} = \frac{q}{2pld} * \exp\left[-\frac{Vx}{2a}\right] * K_0\left[\frac{Vr}{2a}\right]$$

Для вісі OZ, що проходить через крапкове джерело теплоти, температуру граничного стану знаходять за формулою:

$$T(z) = k(z) \frac{q}{2lpz} * \exp\left[-\frac{Vz}{2a}\right]$$

де $m(r, z)$ - коефіцієнт, враховуючий зосередження джерела на верхній поверхні плоского шару, знаходять по рис. 4.2;

$k(z)$ - коефіцієнт, враховуючий обмеженість тіла нижньою площиною $z=\delta$ знаходять по рис. 4.3.



для $Z = 0$ $m > 1$, для $Z = \delta$ $m < 1$

Рисунок 4.2 - Коефіцієнт m , що виражає відношення температури на поверхнях плоского шару, який нагрівається за допомогою крапкового джерела теплоти, до температури пластини, яка нагрівається за допомогою лінійного джерела теплоти.

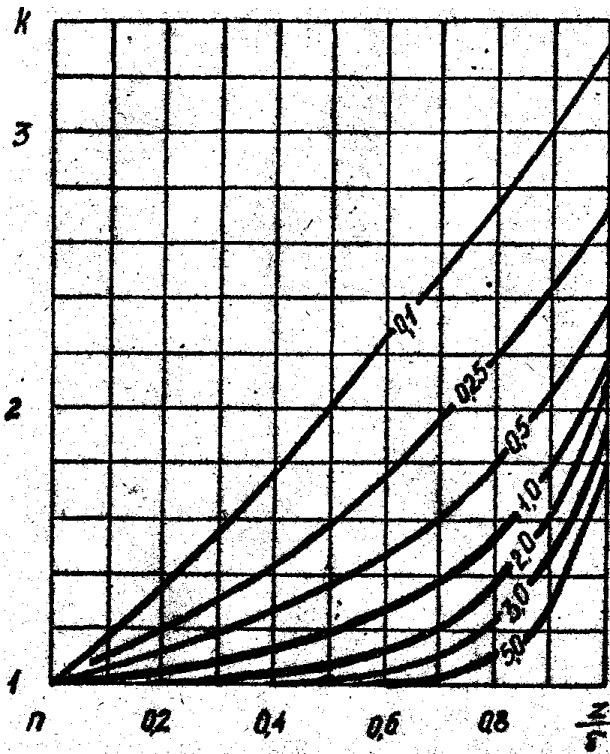


Рисунок 4.3 - Коефіцієнт k , що виражає відношення температури вісі OZ плоского шару, який нагрівається за допомогою крапкового джерела, що знаходиться у точці O , до температури напівнескінченного тіла, яке нагрівається за допомогою крапкового джерела.

4.1.3 Напівнескінченне тіло

Для третього випадку приймаючи зварювальну дугу як крапкове джерело теплоти, діючий на площину напівнескінченного тіла, отримуємо формулу температурного поля

$$T(x, R) = \Psi_3(r_3, t_3) * T(x, R)_{пред},$$

де $R = x^2 + y^2 + z^2$ - просторовий радіус - вектор точки рухомого температурного поля, тобто відстань розглянутої точки від миттєвого положення джерела теплоти;

$\Psi_3(\rho_3 * \tau_3)$ - коефіцієнт теплонасичення для крапкового джерела у напівнескінченному тілі; на рис. 4.4 наведено у залежності від безрозмірних критеріїв відстані ρ_3 та часу τ_3 .

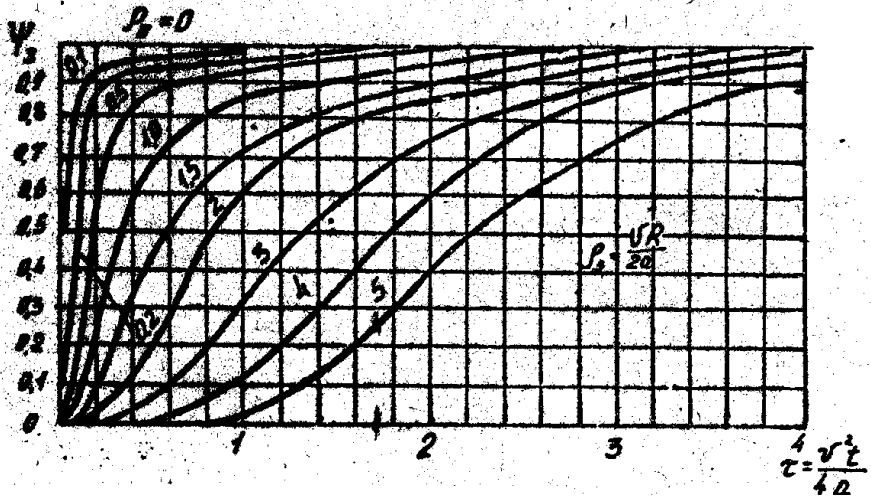


Рисунок 4.4 - Номограма для визначення коефіцієнта теплонасичення точкового джерела у напівнескінченному тілі

$$T(x, R)_{пред} = \frac{q}{2plR} * \exp \left[-\frac{V(x+R)}{2a} \right]$$

$$r_3 = \frac{VR}{2a},$$

$$t_3 = \frac{V^2 t}{4a}$$

4.1.4 Розрахунок температурного поля на комп'ютері

Алгоритм розрахунку температурних полів відносно нескладний, може бути виконаний за допомогою ПК за програмою FIELDS, EXE.

При розрахунках $T_{гр}$ за формулою (4.1) координата "X" дорівнює -5, -10, -15, -20... - 100 мм, таким чином значення "X" приймають позаду лінійного джерела тепла у пластині.

Для кожного значення "X" приймають значення "У" рівними 5, 10, 15, 20 ...100 мм.

Результати розрахунків температурного поля упорядковуються у виді табл. 1.1.

Таблиця 1.1- Результати розрахунків температурного поля

x, см	y, см	$T_{гр}(x,y), ^\circ\text{C}$

В алгоритмі розрахунку температурних полів (додаток В), обчислювання для лінійного джерела тепла у пластині проводиться за умовою, що $z = 0$, $\alpha \neq 0$. У інших випадках $\alpha = 0$ йде обчислювання температурних полів плоского шару (при $z \neq 0$, $\alpha = 0$) та напівнескінченному тілі (при $z = 0$, $\alpha = 0$). Позначення прийняті в алгоритмі приведені в додатку Г.

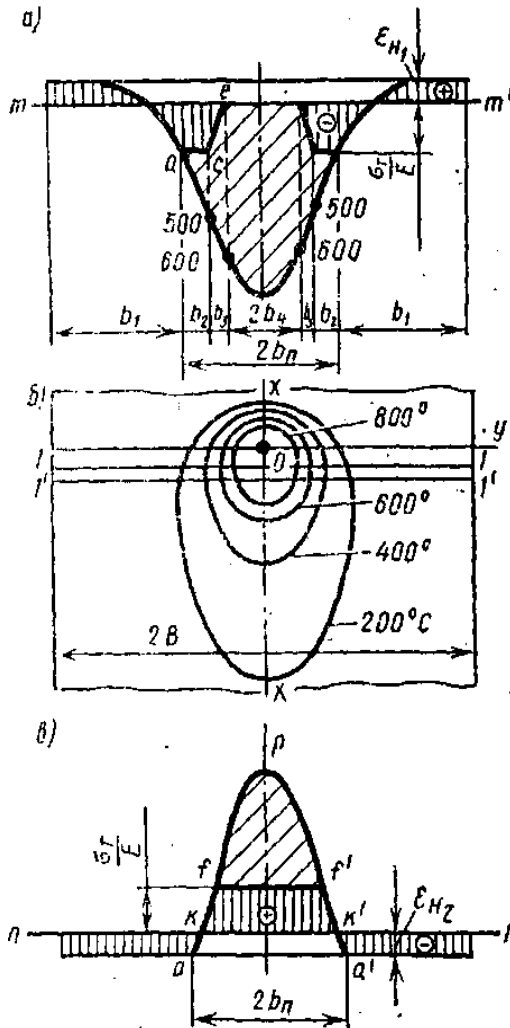
4.2 Визначення одноосних поздовжніх напружень при дуговому зварюванні листів встик з використанням графорозрахункового методу Г.О. Ніколаєва

Графорозрахунковий метод Г.О. Ніколаєва розглядає механізм виникнення тимчасових і залишкових деформацій та напружень.

У цьому графоаналітичному методі прийняті такі допущення:

- розглядаються тільки одноосні поздовжні напруження;
- поперечні перерізи плоскі;
- приймається схематизована залежність межі текучості від температури;
- модуль пружності E незалежний від температури.

Розглянемо визначення поздовжніх деформацій та напружень при зварюванні встик двох пластин при повній їх ширині $2B$ (рис. 4.5).



a — епюра поздовжніх деформацій в перерізі $I-I$;

b — поле температур при зварюванні;

c — епюра поздовжніх деформацій, які виникли на стадії остигання.

Рисунок 4.5 – Визначення поздовжніх деформацій та напружень при зварюванні пластин

Метод [5] передбачає визначення деформацій і напружень у двох поперечних перерізах: перерізі 1–1, відповідному найбільшій ширині ізотерми 600°C (для сталей); перерізі 2–2 після повного остигання (на рисунку не показано).

Згідно з теорією деформації металу при зварюванні розрізняють наступні види деформацій:

а) температурні деформації $\square_{\alpha} = \alpha T$, α – коефіцієнт температурного подовження, 1/°C; T – зміна температури крапки тіла;

б) деформації $\square_{\text{н}}$ які спостерігають і характеризують зміну розміру тіла;

в) власні (внутрішні): пружні $\square_{\text{пр}}$ та пластичні $\square_{\text{пл}}$ деформації;
Деформації пов'язані між собою:

$$\square_{\text{н}} = \square_{\text{пр}} + \square_{\text{пл}} + \square_{\alpha} \quad (4.3)$$

Якщо до протікання якогось процесу були початкові деформації $\square_0$ внаслідок попередніх пластичних деформацій то (3.1) має вид:

$$\square_{\text{н}} = \square_{\text{пр}} + \square_{\text{пл}} + \square_{\alpha} + \square_0 \quad (4.4)$$

Розподіл власних деформації в перерізі 1–1 (враховуючі $\square_{0\text{пл}} = 0$ до зварювання):

$$\square_{\text{пр}1} + \Delta \square_{\text{пл}1} = \square_{\text{н}1} - \square_{\alpha 1} = \square_{\text{н}1} - \alpha T \quad (4.5)$$

Вирішуємо рівняння (4.5) графічно. Візьмемо поряд з перерізом 1–1 другий переріз 1–1' на відстані, який дорівнює одиниці. Температурна деформація в напрямку OX складе αT .

Будуємо криву температурних деформацій $\square_{\alpha} = \alpha T$ у вигляді товстої кривої лінії униз, як від'ємні (рис. 2.1а).

Так як прийнято, що поперечні перерізи не викривлюються, то деформація яка спостерігається $\square_{\text{н}}$ смужки між 1–1' та 1–1 буде однаковою по всій ширині пластин 2В.

Положення лінії m – m визначає значення $\square_{\text{н}1}$ та підбирається послідовним приближенням із умови рівнозваженості власних напружень в межах перерізу 1–1 :

–при довільному значенні $\square_{\text{н}1}$ проводимо лінію m – m ;

–униз від $m-m_0$ відкладаємо гранично можливу пружну деформацію $\epsilon_{пр} = \epsilon_T = \sigma_T/E$ та проводимо горизонтальну лінію ac ($\epsilon_T = \text{const}$) до $T=500^\circ\text{C}$ (см. Рис. 4.5 а);

–від 500 до 600°C межа текучості змінюється лінійно до нуля, проводимо лінію ce ;

–перевіряється рівність площі пружної додатної (+) та пружної від'ємної (-) деформації.

Якщо площі зрівноважні (рівні), визначається значення $\epsilon_{н1}$ та обчислюється значення діючих у перерізі 1-1 напружень σ_0 . Якщо площі незрівноважені, необхідно задатися новим положенням лінії $m-m'$ та повторити побудову з тим, щоб різниця площин додатної та від'ємної була менша 5 %.

На рис. 4.5 а вертикально заштрихована епюра пружних деформацій; косо – епюра пластичних деформацій.

Деформація яка спостерігається $\epsilon_{н1}$ додатна, що означає пластина в процесі нагріву при зварюванні подовжується. Пружні деформації подовження показані знаком плюс, а деформації скорочення – зі знаком мінус. Зони шириною b_1 зазнають тільки пружні деформації, зони b_2 та b_3 – пружні та пластичні, а зона b_4 тільки пластичні деформації. Зони b_2 , b_3 та b_4 складають зону пластичних деформацій $2b_n$.

Для визначення залишкових деформацій та напружень розглядаємо стадію остигання, переходимо від розподілу деформацій в перерізі 1–1 до розподілу деформацій у деякому перерізі 2–2, умовно який знаходиться при температурі 0°C . Використаємося рівнянням (4.4), в якому початковими деформаціями будуть пластичні деформації, знайдені в перерізі 1–1. Стан в перерізі 1–1 є початковим для стану в перерізі 2–2.

Рівняння (4.4) для стану 2–2 :

$$\epsilon_{пр2} + \Delta\epsilon_{пл2} = \epsilon_{н2} - \epsilon_{\alpha2} - \epsilon_{0пл2} \quad (4.6)$$

Для визначення пружних та пластичних деформацій використовуємо графічний метод. Відкладемо (рис. 4.5 в) у вигляді товстої лінії епюру $-\epsilon_{0пл2}$. Початкові деформації $\epsilon_{0пл2} = \Delta\epsilon_{пл1}$ в перерізі 1–1. Так як пластичні деформації $\Delta\epsilon_{пл1}$ були деформаціями скорочення волокон металу при нагріванні та мають знак мінус, то –

$\square_{0\text{пл}2} = -\Delta\square_{\text{пл}1}$ буде додатковою, тому вона відкладена догори. Шукана деформація $\square_{\text{н}2}$ однакова по всій ширині пластини по гіпотезі плоских перерізів. Далі задаємося деяким від'ємним довільним значенням $\square_{\text{н}2}$ зрушуємо початок координат на лінію $n-n'$. Ординати кривої $kfpf\square k$ являють собою ліву частину рівняння (4.6), тобто суму пружних і збільшення пластичних деформацій, відповідних стадії остигання.

Для того, щоб отримати окремо значення пружної і пластичної складової використаємо σ_T при кімнатній температурі та визначимо максимально можливу пружну деформацію $\square_{\text{пр}2\text{max}} = \square_T$. Відкладемо на рис. 4.5 в $\square_T = \sigma/E$ від перерізу $n - n'$ угору. Тоді косо заштрихована частина $kfpf\square$ буде виражати приріст пластичних деформацій подовження $\Delta\square_{\text{пл}2}$, які виникли при остиганні; вертикально заштрихована частина епюри – пружні деформації.

Якщо положення лінії $n-n'$ вибрано вірно, то сума площин епюр пружних від'ємної та додатної деформацій будуть рівними. Якщо ж епюри пружних деформацій незрівноважені, необхідно задатися новим положенням лінії $n-n'$ (тобто $\square_{\text{н}2}$) та повторити побудову до зрівноваження площин додатної та від'ємної пружних деформацій.

Залишкові пластичні деформації $\square_{\text{пл.зал}}$ дорівнюють алгебраїчній сумі пластичних деформацій при нагріванні $\Delta\square_{\text{пл}1}$ та збільшення пластичних деформацій при остиганні $\Delta\square_{\text{пл}2}$:

$$\square_{\text{пл.зал}} = \Delta\square_{\text{пл}1} + \Delta\square_{\text{пл}2}$$

Метод Г.А. Николаєва дозволяє отримати розподіл залишкових напружень $\sigma_{\text{зал}} = \square_{\text{пр}2}E$ та відносне скорочення зварюваної пластини $\square_{\text{н}2}$.

З розрахунку слідує, що максимальні залишкові напруження в низьковуглецевій сталі є розтягуючі, рівняються межі текучості та мають місце в зоні шва і зоні термічного впливу з високими температурами. В основному металі, де температура нижче (200...300°C), залишкові напруження – стискаючі.

На основі отриманих значень пружних деформацій при нагріванні та остиганні, розрахувати значення діючих у пластині напружень та порівняти з допустимими напруженнями; зробити висновок.

5 ВКАЗІВКИ ЩОДО ОФОРМЛЕННЯ І ЗАХИСТУ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Курсовий проект складається з пояснювальної записки об'ємом до 30 сторінок і графічного матеріалу.

Курсовий проект оформлюється на державній мові.

Пояснювальну записку виконують згідно до стандартів ДСТУ 3008:2015 "Документація. Звіти в сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення" і СТП 15-96 "Пояснювальна записка до курсових і дипломних проектів. Вимоги і правила оформлення" на аркушах формату А4 (210x297 мм) на одній сторінці аркуша білого паперу машинним (за допомогою комп'ютерної техніки) способом. Шрифт - Times New Roman, розмір шрифту – 14, міжстроковий інтервал – 1,5.

Усі конструкторські та технологічні документи повинні бути оформлені у відповідності до вимог ЄСКД і ЄСТД.

Титульний аркуш оформлюється за формою 2 ДСТУ ГОСТ 3.1103:2014.

Завдання оформлюється студентом згідно форми №25 (<http://zntu.edu.ua/novi-blanki-zntu>)

Бібліографічні дані приводити згідно ДСТУ 8302:2015

Креслення виконуються на форматі А1 за необхідності А0 згідно ГОСТ2.301-68

Заповнюваність креслень не менш 80 % поля аркуша.

Курсовий проект подається на випускову кафедру, як правило, не пізніше ніж за два тижні до дня захисту в комісії.

Захист проекту може проводитись як у ЗНТУ, так і на підприємствах, в установах та організаціях, для яких тематика робіт, поданих для захисту, має науковий, теоретичний або практичний інтерес.

Захист проекту здійснюється, як правило, державною мовою. Рішення про допуск до захисту проекту іноземною мовою приймає на своєму засіданні до початку роботи комісії випускова кафедра за заявою студента.

Засідання комісії із захисту проекту мають відкритий (публічний) характер. У засіданні комісії можуть брати участь

керівники робіт, викладачі кафедр, запрошені, всі охочі.

Студент, який за результатами захисту отримав незадовільну оцінку або не атестований з будь-яких причин, відраховують із ЗНТУ з правом повторного захисту протягом трьох років. Йому видають академічну довідку встановленого зразка.

Повторний захист особи здійснюють на компенсаційній основі, за винятком випадків неявки на або захист непередставлення проекту на захист із поважних причин, підтверджених документально. Повторне проведення захисту з метою підвищення оцінки не дозволяється.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Теоретические основы сварки / Под ред. В.В. Фролова. - М.: Высш. шк., 1970. - 592 с.

2. Багрянский К.В. Теория сварочных процессов/К.В. Багрянский, З.А. Добротина, К.К. Хренов. - К.: Вища шк., 1976. - 423 с.

3. Казимаров А.А. Расчёт температурных полей в пластинах при электросварке плавлением: Справочник/А.А. Казимиров, А.Я. Недосека, А.И. Лобанов, И.С. Радченко.– К.: Наук. думка, 1968. – 850 с.

4. Винокуров В.А. Теория сварочных деформаций и напряжений/В.А. Винокуров, А.Г. Григорьянц - М.: Машиностроение, 1984. - 280 с.

5. Николаев Г.А. Сварные конструкции. Расчет и проектирование: учебник для вузов/Г.А. Николаев, В.А. Винокуров. – М.: Высшая школа. – 1990. – 446с.

6. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т. /Редкол.: Г.А. Николаев и др.. – М.: Машиностроение, 1979 – т.3/Под ред.. В.А. Винокурова. – 1979. – 567с.

Додаток А

Індивідуальні завдання для теоретичної частини курсового проекту

1. Основні джерела тепла в зварюванні. Електричний дуговий розряд.
2. Джерела тепла в зварюванні.
3. Теплові основи зварювання. Основні теплофізичні величини.
4. Розрахунок процесу поширення тепла при наплавленні валика на масивне тіло.
5. Розрахунок поширення тепла при однопрохідному зварюванні пластин устик.
6. Нагрівання металу потужним швидким джерелом тепла
7. Нагрівання та плавлення електрода при дуговому зварюванні.
8. Нагрівання та плавлення основного металу зварювальною дугою.
9. Нагрівання металу зварювальною дугою.
10. Нагрівання металу газовим полум'ям.
11. Нагрівання металу плазмовою дугою, електронним і лазерним променем
12. Деформації, напруження та переміщення при зварюванні конструкцій.
13. Методи визначення зварювальних деформацій та напружень.
14. Поздовжні залишкові пластичні деформації та усадочна сила в зоні зварювальних з'єднань.
15. Поперечні переміщення та усадка в зоні зварювальних з'єднань
16. Переміщення елементів зварювальних конструкцій.
17. Основи теплових розрахунків для умов зварювання.
18. Основні розрахункові схеми нагрівання металу зварювальними джерелами тепла.
19. Термічні розрахунки для зварювання масивного тіла крапковими джерелами тепла.
20. Температурні поля в пластині при проплавленні на всю товщину.

21. Нагрівання плоского шару крапковим джерелом тепла. Періоди теплонасичення та вирівнювання температури при зварюванні.
22. Температурні поля розподілених джерел тепла. Вживання теплових розрахунків в умовах зварювання.
23. Зварювальні деформації та напруження. Класифікація.
24. Виникнення та розвиток зварювальних деформацій та напружень.
25. Залишкові поздовжні зварювальні деформації та напруження.
26. Залишкові поперечні деформації та напруження від поздовжніх і поперечних швів.
27. Місцеві зварювальні деформації.
28. Заходи уникнення та боротьби зі зварювальними деформаціями та напруженнями.
29. Деформації та напруження при зварюванні легованих конструкційних і різномірних сталей.
30. Розрахункове визначення власних напружень при зварюванні.

Додаток Б

Індивідуальні завдання для практичної частини курсового проекту

№	δ , мм	Діаметр електроду, мм	$U_{д}$ В	$I_{зв}$, А	$V_{зв}$ м/ч
АДФ					
1.	3,0	2,0	28-30	275-300	48-50
2.	4,0	3,0	28-30	350-400	44-46
3.	5,0	4,0	28-32	400-425	38-40
4.	5,0	4,0	28-32	550-600	38-40
5.	5,0	5,0	28-30	575-625	48-50
6.	8,0	5,0	34-38	700-750	28-30
7.	8,0	4,0	32-36	675-725	30-32
8.	10,0	5,0	34-38	700-750	28-30
9.	12,0	5,0	36-40	750-800	25-27
10.	14,0	5,0	36-40	850-900	25-27
11.	16,0	5,0	38-42	900-950	20-22
12.	20,0	5,0	40-44	950-1000	18-20
13.	8,0	5,0	34-38	650-700	32-34
14.	10,0	4,0	34-38	600-650	30-32
15.	12,0	4,0	36-40	650-700	30-32
16.	14,0	5,0	36-40	700-750	28-30
17.	16,0	5,0	36-40	700-750	25-27
18.	20,0	5,0	38-42	750-800	22-24
19.	30,0	5,0	40-44	950-1000	16-18
20.	40,0	5,0	40-44	1100-1200	12-14
21.	50,0	5,0	44-48	1200-1300	8-10
22.	50,0	2,0	28-30	250-300	36-38
23.	50,0	4,0	28-32	550-600	38-40
24.	50,0	4,0	30-34	400-450	38-40
25.	50,0	5,0	34-38	650-700	32-34
26.	50,0	5,0	36-40	700-750	28-30
27.	50,0	5,0	36-40	750-800	23-25
28.	50,0	5,0	38-42	900-950	38-40
29.	50,0	5,0	40-44	950-1000	38-40
30.	50,0	5,0	44-48	950-1000	43-45

	АДГ				
31.	1,0	1,0	24-26	80-90	48-50
32.	1,0	1,2	24-26	110-120	48-50
33.	2,0	1,6	28-30	130-140	30-32
34.	2,0	2,0	30-32	190-200	58-60
35.	0,6	0,5	18-20	50-60	25-30
36.	1,0	0,8	18-20	50-60	20-25
37.	1,2	0,8	18-20	70-100	18-24
38.	3,0	2,0	28-30	180-200	14-16
39.	6,0	2,0	28-30	280-300	16-18
40.	8,0	2,0	28-30	280-300	14-16

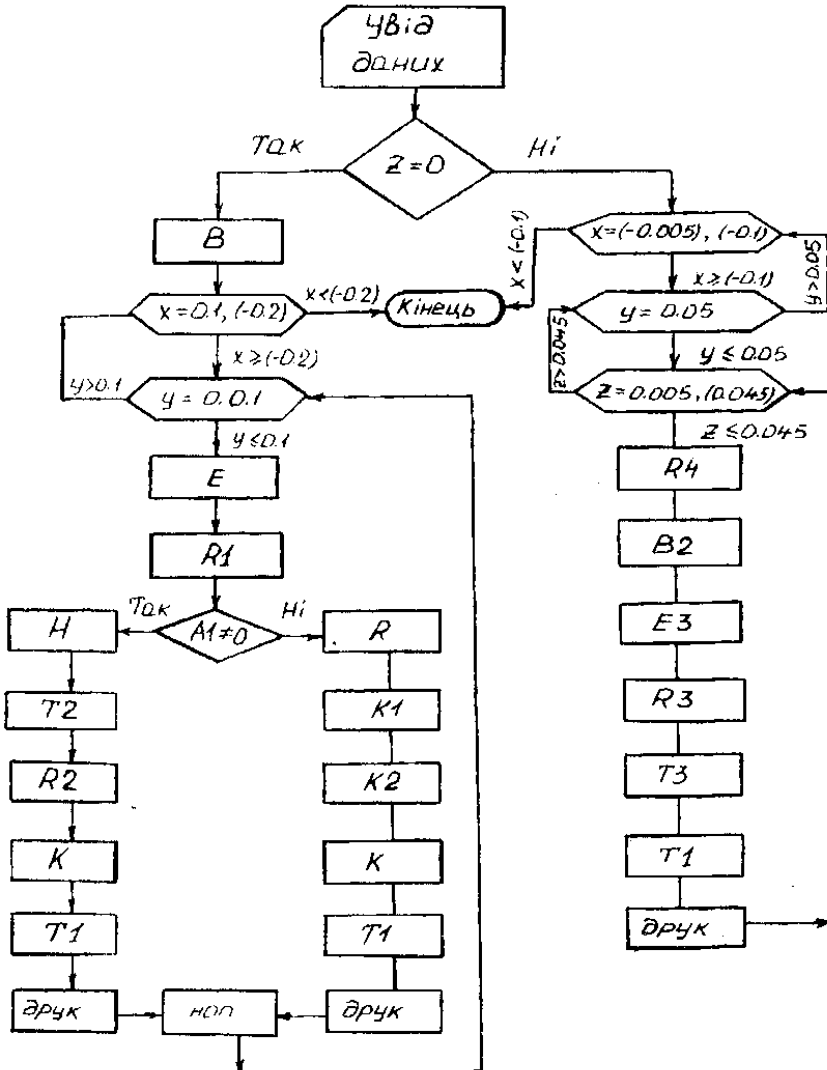
Примітки.

1 Тип шву - односторонній з повним проваром, без оброблення пружків.

2 Матеріал, та схема нагрівання (I, II, III) - за вказівкою викладача. Таким чином кількість варіантів перевищує 250 шт.

Додаток В

Блок-схема програми розрахунку температурних полів у пластині, плоскому шарі та напівнескінченному тілі



В приведеній блок-схемі прийнятні наступні позначення теплофізичних величин

№	Теплофізична величина або параметр	Схема розрахунку		
		1	2	3
1.	Ефективна теплова потужність q , Вт		Q	
2.	Швидкість, v , см/с		Y	
3.	Час, t , с		T	
4.	Коефіцієнт теплопровідності, λ , Вт/см $\cdot$ °C		L	
5.	Коефіцієнт температуропровідності, a , см ^{2} /с		A	
6.	Коефіцієнт тепловіддачі, α , Вт/см ^{2} ·°C		AI	
7.	Об'ємна теплоємність, c_p , Дж/см ^{3} ·°C		C	
8.	Товщина листа, δ , см		D	
9.	Координати, x, y, z , см		X, Y, Z	
10.	Функція Бесселя, $K_0(u)$	K	K	
11.	$q/2\pi\lambda\delta$	B	B	
12.	$\exp\left(\frac{VX}{2a}\right)$	E	E	
13.	плоский радіус-вектор, r , см	R1	R1	
14.	коефіцієнт температуровіддачі, b , 1/с	H		
15.	безрозмірний критерій часу, τ_2	T2		
16.	безрозмірний критерій відстані, ρ_2	R2		
17.	Температура гранична, $T_{x,y}$, °C	TI	TI	TI
18.	$Vr/2\alpha$		R	
19.	r/δ		KI	
20.	$V\delta/2\alpha$		K2	
21.	$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$			R4
22.	$\exp\left(-\frac{V(X+R)}{2a}\right)$			E3
23.	$q/2\pi\lambda R$			B2
24.	$r_3 = \frac{Vr}{2a}$			B3
25.	$\frac{V^2 T}{4a}$			T3