

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя

Кафедра інжинірингу
машинобудівних технологій

ЛІТЕРАТУРА



НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичної роботи № 3

на тему:

“ РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ КОНТАКТНОГО СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ”

з дисципліни:

**“ Технології та обладнання обробки і зварювання
деталей тиском ”**

Тернопіль, 2022

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

Кафедра інжинірингу
машинобудівних технологій

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичної роботи № 3

на тему:

**“ РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ
КОНТАКТНОГО СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ”**

з дисципліни:

**“ Технології та обладнання обробки і зварювання деталей
ТИСКОМ ”**

для студентів освітньо-кваліфікаційного
рівня «бакалавр» за спеціальністю 131
“Прикладна механіка”

Тернопіль, 2022

Методичні вказівки розроблені відповідно до освітньої програми підготовки бакалавра зі спеціальності 131 “Прикладна механіка”.

Укладачі: ст. викладач Береженко Б.М.
асистент Береженко Є.Б.
асистент Король О.І.

Рецензент: к.т.н., доц. Сташків М.Я.

Методичні вказівки розглянуті та схвалені на засіданні кафедри інжинірингу машинобудівних технологій.

Протокол № __ від __ «_____» 202_ р.

Методичні вказівки рекомендовано до друку методичною комісією ФМТ.

Протокол № __ від від __ «_____» 202_ р.

ЗМІСТ

	ст.
1. Мета і завдання роботи	5
2. Порядок розрахунку параметрів режиму стикового зварювання.	5
3. Розрахунок основних параметрів стикового зварювання опором.	9
3.1. Визначення установочної довжини	9
3.2. Розрахунок зусилля осадки.	10
3.3. Розрахунок величини зварювального струму.	10
4. Розрахунок параметрів стикового зварювання оплавленням.	15
4.1. Розрахунок установочної довжини, припусків на оплавлення, осадку і зусилля осадки.	15
4.2. Розрахунок струму зварювання	18
5. Розрахунок параметрів стикового зварювання оплавленням з підігрівом.	20
5.1. Розрахунок параметрів режиму зварювання	20
5.2. Розрахунок струму підігріву і оплавлення	22
6. Завдання для розрахунку параметрів режиму зварювання	24
Перелік посилань	27

1 Мета і завдання роботи

- 1.1 Мета: Навчитися розраховувати і підбирати основні параметри режиму контактної стикової зварювання.
- 1.2 Завдання:
 - 1.2.1 Ознайомитися з порядком розрахунку основних параметрів процесу контактної стикової зварювання.
 - 1.2.2 Розрахувати в залежності від марки матеріалу і його товщини основні параметри режиму процесу контактної стикової зварювання.

2 Порядок розрахунку параметрів режиму стикової зварювання.

До вихідних даних для розрахунку і вибору параметрів режиму стикової зварювання, відносять наступні основні параметри:

- марка зварюваного матеріалу, його хімічний склад, механічні і фізичні властивості;
- геометричні характеристики зварюваних деталей;
- особливості конструкції;
- вимоги до зварної конструкції або з'єднання.

Підготовка конструкції до зварювання передбачає конструктивне оформлення деталей та обробку їх зварюваних країв, а також очищення контактних ділянок.

Зварювання опором труб і других складних деталей, які мають жорсткі допуски на виготовлення, деколи вимагають калібрування їх кінців і співпадання радіусів скосу на внутрішній поверхні обох країв. Для зварювання оплавленням можуть бути використані деталі з краями, які стримані шляхом різання на пресі, ножицях, механічній плиті, токарних і стругальних станках а також після газового і електричного різання з очищенням від шлаку.

Різниця в діаметрах не повинен перевищувати 15% а за товщиною 10%. Максимальний зазор між краями не повинен бути більшим 15% від припуску на оплавлення.

В залежності від виробів, які необхідно зварити і вимог до них вибираємо циклограму процесу зварювання (рис. 1.2). При цьому слід враховувати також і технологічні можливості машини.

Зварювання опором

Основні параметри:

- площа поперечного перерізу, $F, \text{мм}^2$;
- установочна довжина, $L_1 + L_2, \text{мм}$;
- зусилля затиску деталей, $P_{зат.}, \text{Н}$;
- величина струму, $I_{зв.}, \text{А}$;
- час проходження струму, $t_b, \text{с}$;
- зусилля осадки, $P_{ос.}, \text{Н}$;
- припуск на осадку, $\Delta_{ос.}, \text{мм}$;

Додаткові параметри:

- швидкість осадки, $V_{ос.}, \text{мм/с}$;
- час осадки, $t_{ос.}, \text{с}$.

Зварювання оплавленням.

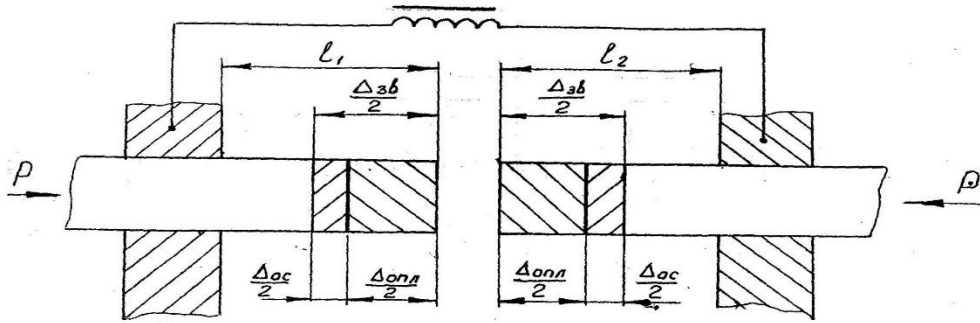
Основні параметри:

- площа поперечного перерізу деталей, $F, \text{мм}^2$;
- установчі довжини, $L_1, L_2, \text{мм}$;
- припуск на осадку, $\Delta_{ос.}, \text{мм}$;
- припуск на оплавлення, $\Delta_{опл.}, \text{мм}$;
- припуск на зварювання, $\Delta_{зв.} = \Delta_{опл.} + \Delta_{ос.}, \text{мм}$;
- зварювальний струм, $I_{зв.}, \text{А}$;
- зусилля осадки, $P_{ос.}, \text{Н}$;
- зусилля затискання деталей в губках, $P_{зат.}, \text{Н}$.

Додаткові параметри:

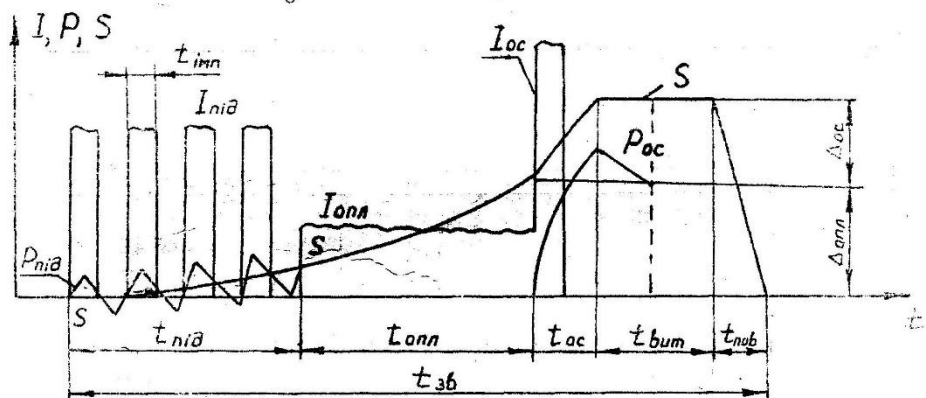
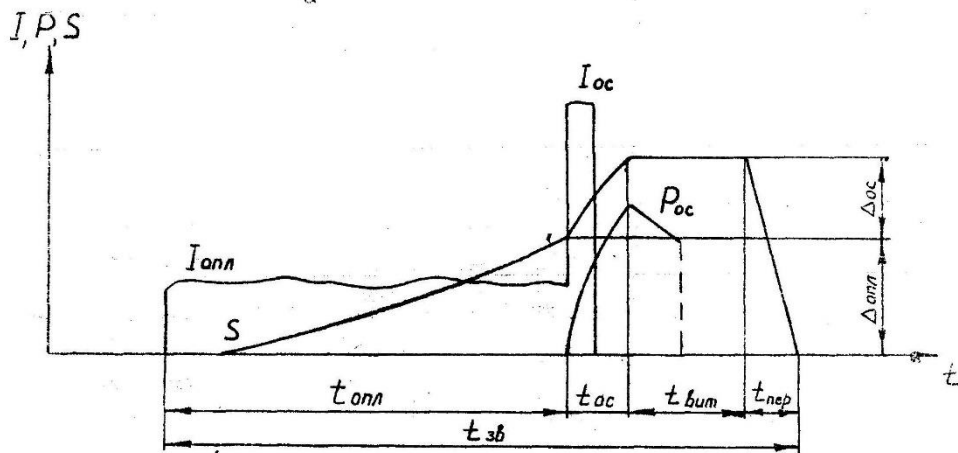
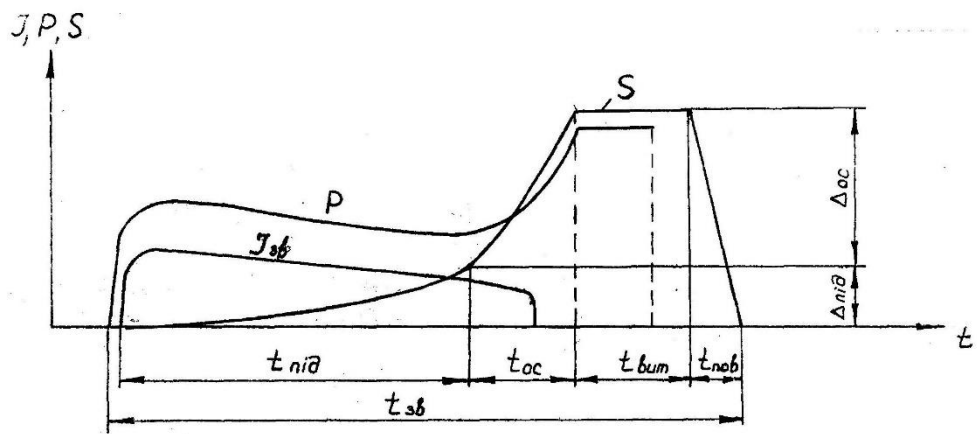
- час оплавлення, $t_{ос.}, \text{мм/с}$;

- час зварювання, $t_{зв.} = t_{опл.} + t_{ос.}, с;$
- швидкість осадки, $V_{ос.}, мм/с;$
- швидкість оплавлення, $V_{опл.}, мм/с;$
- час осадки, $t_{ос.}, с;$
- густина зварювального струму, $j, А/мм^2.$



l_1, l_2 – установочна довжина; $\Delta_{ос}$ – припуск на осадку; $\Delta_{опл}$ – припуск на оплавлення; $\Delta_{зв}$ – припуск на зварювання.

Рисунок 1.1 – Схема процесу стикового зварювання



а – зварювання опором; б – зварювання оплавленням; в – зварювання оплавленням з підігрівом. $I_{зб}$ – струм зварювання; P – зусилля стику; S – переміщення рухомого затискача; $I_{онн}$ – струм оплавлення; $I_{ос}$ – струм осадки; $P_{ос}$ – зусилля осадки; t_{nid} – час підігріву; $t_{имп}$ – час імпульсу підігріву; $t_{зб}$ – час зварювання; t_{oc} – час осадки; t_{bum} – час витримки; P_{nid} – зусилля стискання в момент підігріву; $\Delta_{онн}, \Delta_{oc}$ – величина оплавлення і величина осадки.

Рисунок 1.2 – Циклограми процесу стикового зварювання

Зварювання оплавленням з підігрівом:

Основні параметри:

- площа поперечного перерізу, $F, \text{мм}^2$,
- установчі довжини, $L_1, L_2, \text{мм}$;
- припуск на оплавлення, $\Delta_{\text{опл.}}, \text{мм}$;
- припуск на осадку, $\Delta_{\text{ос.}}, \text{мм}$;
- зварювальний струм, $I_{\text{зв.}}, \text{А}$;
- температура підігріву, $T, \text{К}^\circ$;
- зусилля осадки, $P_{\text{ос.}}, \text{Н}$;
- зусилля затискання деталей в губках, $P_{\text{зат.}}, \text{Н}$.

Додаткові параметри:

- час підігріву, $t_{\text{під.}}, \text{с}$;
- час оплавлення, $t_{\text{ос.}}, \text{мм/с}$;
- час осадки, $t_{\text{ос.}}, \text{с}$;
- час зварювання, $t_{\text{зв.}} = t_{\text{опл.}} + t_{\text{ос.}}, \text{с}$;
- швидкість осадки, $V_{\text{ос.}}, \text{мм/с}$;
- швидкість оплавлення, $V_{\text{опл.}}, \text{мм/с}$.

3 Розрахунок основних параметрів стикового зварювання опором.

3.1 Визначення установочної довжини

Установочна довжина вибирається виходячи із забезпечення стійкості зварюваних деталей і можна визначити за формулою:

- для круглого перерізу і квадрату

$$L_1 + L_2 = (0,75 \div 1)d; \quad (1.1)$$

- для прямокутного перерізу

$$L_1 + L_2 = (4 \div 5)\delta; \quad (1.2)$$

- для вуглецевих сталей

$$L_1 + L_2 = 1,2\sqrt{F}; \quad (1.3)$$

- для легованих сталей

$$L_1 + L_2 = 1,1\sqrt{F}; \quad (1.4)$$

де L_1, L_2 – установочні довжини першої і другої деталі, мм;

δ – товщина деталі, мм;

d – діаметр деталі або деталей, мм;

F – площа поперечного перерізу деталей, мм².

3.2 Розрахунок зусилля осадки.

Задовільне зварювання деталей нагрітих до $T=1200^\circ$, можливе при питомому тиску осадки $p=15\div 30$ МПа. При зварюванні на машинах з ручним приводом осадки процес спочатку ведеться з дещо меншим питомим тиском $p=10\div 15$ МПа.

Зусилля осадки можна визначити за формулою:

$$P_{oc} = p F \quad (1.5)$$

Де: P_{oc} – зусилля осадки, Н;

P – питомий тиск, МПа;

F – площа поперечного перерізу, м².

Визначаємо величину зусилля, яке необхідне для затискування деталей за формулою:

$$P_{zат} = K_{zат} P_{oc} \quad (1.6)$$

Де: $K_{zат}$ – коефіцієнт затискання (табл.1.1)

Таблиця 1.1 – Значення коефіцієнта затискання

№ з/п	Зварювані зразки	$K_{zат}$
1	Труби і прутки з маловуглецевої сталі	1,5-2,0
2	Прутки з хромонікелевих сталей	2,2-3,0
3	Діловий прокат	2,3-3,2
4	Алюмінієвий прокат	2,8
5	Алюмінієвий прокат (губки з насічкою)	0,8-1,0

3.3 Розрахунок величини зварювального струму.

Для здійснення зварювання опором необхідно нагріти деталі в стику до температури $T=0,8-0,9T_{пл}$.

Нагрів здійснюється за рахунок тепла, що виділяються в самих деталях і в зоні стику:

$$T=T1+T2; \quad (1.7)$$

Де: $T1$ – температура нагріву деталей безпосередньо теплом, яке виділяється в них;

$T2$ – температура нагріву за рахунок тепла, що виділяється безпосередньо в стику.

Виходячи з теплового балансу визначаємо температури нагріву деталей перед початком осадки:

$$Q= Q1+ Q2+ Q3+ Q4 \quad (1.8)$$

$$Q= Q\delta+ Q\kappa \quad (1.9)$$

Виходячи з цих рівнянь можна записати:

$$Q\delta= Q1; Q\kappa= Q2 \quad (1.10)$$

Де: Q – загальна кількість тепла, яка виділяється в деталях при зварюванні;

$Q\delta$ – тепло, яке виділяється при проходженні струму через самі деталі;

$Q1$ – тепло яке затрачається на нагрів деталей до температури $T1$;

$Q\kappa$ – тепло, що виділяється при проходженні струму через контактну поверхню;

$Q2$ – тепло, що затрачається на нагрів зони стику до температури $T2$;

$Q3$ – кількість тепла, що затрачається на нагрів губок;

$Q4$ – кількість тепла, що випромінюється в навколишнє середовище.

Приймемо, що:

$$Q3=0; Q4=0; \quad (1.11)$$

Температуру нагріву $T1$ визначаємо із формули:

$$Q\delta=I_{3B}^2 K2\rho t \frac{L1+ L2}{F} t_{3B} \quad (1.12)$$

$$Q1=c\gamma F(L1+ L2)T1 \quad (1.13)$$

Звідси:

$$T1=\frac{I_{3B}^2 K2\rho t t_{3B}}{F^2 c\gamma} \quad (1.14)$$

Температурний нагрів в зоні стику T_2 визначаємо із формули:

$$Q_k = m_1 \cdot I_{зв}^2 \cdot R_k \cdot t_{зв} \quad (1.15)$$

$$Q_2 = F \sqrt{\pi \gamma c \lambda} \frac{1}{\sqrt{t_{зв}}} T_2; \quad (1.16)$$

$$m_1 \cdot I_{зв}^2 \cdot R_k t_{зв} = F \sqrt{\pi \gamma c \lambda} \frac{1}{\sqrt{t_{зв}}} T_2 \quad (1.17)$$

$$T_2 = \frac{m_1 I_{зв}^2 R_k \sqrt{t_{зв}}}{F^2 c \gamma} \quad (1.18)$$

Кінцева температура при стиковому зварюванні опором визначається за формулою:

$$T = T_1 + T_2 = \frac{\rho_t I_{зв}^2 t_{зв} K_2}{F^2 c \gamma} + \frac{m_1 I_{зв}^2 R_k \sqrt{t_{зв}}}{F c \sqrt{\pi \gamma c \lambda}}; \quad (1.19)$$

Прийнявши $T = 0,8-0,9 T_{пл}$ визначаємо величину струму, необхідного для нагріву стику до вказаної температури:

$$I_{зв} = \sqrt{\frac{(0,8 \div 0,9) T_{пл}}{\frac{\rho_t t_{зв} K_2}{F^2 c \gamma} + \frac{m_1 R_k \sqrt{t_{зв}}}{F \sqrt{\pi \gamma c \lambda}}}}; \quad (1.20)$$

Де: $I_{зв}$ – величина зварювального струму, A ;

$T_{пл}$ – температура плавлення металу, K ;

ρ_t – середній питомий опір, Om ;

$t_{зв}$ – час нагріву, c ;

c – теплоємність, $Дж/кг K^\circ$;

γ – густина, $кг/м^3$;

F_{cp} – середня площа поперечного перерізу деталі, $мм^2$,

$(F_{cp} = (F_1 + F_2) / 2)$;

K_2 – коефіцієнт втрат, (для конструктивних сталей – $K_2 = 0,75$, для аустенітних сталей $K_2 = 1,9$);

λ – коефіцієнт теплопровідності, $Дж/м c Ko$;

m_1 – коефіцієнт, що враховує зміну контактного опору в процесі нагріву стику ($m_1 = 0,4$);

R_k – контактний опір на початку зварювання, Om ;

При зварюванні опором середнє значення питомого опору ρ_t може бути прийнятим:

- для вуглецевих , низько - і середньолегованих сталей $-48 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$;
- для високолегованих сталей $-96 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Величина R_k визначається за формулою:

$$R_k = r_k / P \cdot a \quad (1.21)$$

Де: R_k – контактний опір, Ом;

P – зусилля, яке діє в контакті, Н;

r_k – одиничний контактний опір при зусиллі $P=10 \text{ Н}$ (табл.1.2)

a – показник степені (табл.1.2)

Таблиця 1.2 – Величина одиничного контакту r_k і показник степені a

Матеріал	a	$r_k, \text{ Ом}$
Вуглецеві сталі, низько- і середньо леговані сталі	0,55-0,70	0,005-0,006
Високолеговані сталі	0,70-0,75	0,005-0,006
Алюміній і його сплави	0,75-0,85	0,001-0,02

При густині струму $25-100 \text{ А/мм}^2$ визначаємо час зварювання виходячи з формули:

$$t_{зв} = 10000 / j^2 \quad (1.22)$$

де j – густина стуму, А/мм^2 ;

Густину стуму вибираємо в залежності від площі поперечного перерізу із таблиці 1.3

Таблиця 1.3 – Густина струму при зварюванні опором стержнів із вуглецевих сталей

$F, \text{ мм}^2$	$J, \text{ А/мм}^2$	$F, \text{ мм}^2$	$J, \text{ А/мм}^2$
25	200	250	90
50	160	500	60
100	140	1000	40

Припуск на осадку Δ_{oc} вибирається виходячи із матеріалу зварюваних деталей і їх площі поперечного перерізу (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Величина припуску на осадку в залежності від марки матеріалу і площі поперечного перерізу

№ з/п	Матеріал	Площа поперечного перерізу, мм ²	Припуск на осадку, Δ _{oc} , мм
1	Мало-, середньовуглецеві і низьколеговані сталі	25-100	0,8-1
		100-750	1-2,5
		500-1000	20-2,5
2	Високовуглецеві, середньолеговані сталі	25-100	0,6-1,0
		100-500	1,0-2,5
		500-1000	2,5-3,0
3	Високолеговані сталі	<500	1,5-2,0
4	Кольорові метали і сплави	<500	0,4-2,5

Загальна величина осадки визначається за формулою:

$$\Delta_{oc} = \Delta_{oc1} + \Delta_{oc2} \quad (1.23)$$

де Δ_{oc1} – припуск на осадку першої деталі, мм;

Δ_{oc2} – припуск на осадку другої деталі, мм.

Визначаємо величину зусилля осадки за формулою:

$$P_{oc} = P \cdot F \quad (1.24)$$

де P – питомий тиск, МПа

F – площа поперечного перерізу зварюваних деталей, мм²

В залежності від зварювальних матеріалів і перерізу питомий тиск вибираємо з таблиці 1.5

Таблиця 1.5 – Питомий тиск різних матеріалів при зварюванні опором.

Матеріали	Питомий тиск, МПа
Низьколеговані, мало і середньовуглецеві сталі	10-20
Високо вуглецеві, середньо леговані сталі	30-50
Високо леговані сталі	50-100
Кольорові метали і сплави	3-15

Після вибору і розрахунку параметрів режиму складається таблиця, де приводяться всі параметри, які необхідні для реалізації процесу.

4 Розрахунок параметрів стикового зварювання оплавленням.

4.1 Розрахунок установочної довжини, припусків на оплавлення, осадку і зусилля осадки.

Установочну довжину визначають за формулами:

- для круглого перерізу і квадрату:

$$L1 + L2 = (0,75 \div 1)d \quad (1.1)$$

- для прямокутного перерізу з товщиною δ :

$$L1 + L2 = (4 \div 5)\delta \quad (1.2)$$

- для труб:

$$L1 + L2 = (0,5 \div 1)D4 \quad (1.3)$$

Припуск на зварювання вибирають в залежності від площі поперечного перерізу деталей (табл.1.6).

Таблиця 1.6 – Значення припуску на зварювання в залежності від площі поперечного перерізу деталей

$F \cdot 10^{-6}, \text{м}^2$	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
$\Delta_{зв} \cdot 10^{-3}, \text{мм}$	17-18	19-21	24-26	27-29	30-32	33-35	37-39	40-42

Припуск на зварювання складається:

$$\Delta_{зв} = \Delta_{опл} + \Delta_{ос} \quad (1.4)$$

де $\Delta_{опл}$ – припуск на оплавлення, мм;

$\Delta_{ос}$ – припуск на осадку, мм.

Припуск на оплавлення і осадку визначаються за наступними формулами:

$$\Delta_{опл} = (0,7 \div 0,8) \Delta_{зв}, \quad (1.5)$$

$$\Delta_{ос} = (0,2 \div 0,3) \Delta_{зв}. \quad (1.6)$$

У випадку здійснення осадки під струмом, припуск буде визначатись:

$$\Delta_{oc\ ст.} = (0,5 \div 1,0) \Delta_{oc} \quad (1.7)$$

Швидкість оплавлення залежить від перерізу деталей, марки матеріалу і зростає від нуля до 6-8 мм/с. Середня швидкість оплавлення приведена в таблиці 1.7

Таблиця 1.7 – Швидкість оплавлення різних матеріалів при зварюванні неперервним оплавленням

№ з/п	Матеріали	Швидкість оплавлення $V_{on}, 10^{-3} \text{ м/с}$
1	Мало і середньовуглецеві сталі	2 - 5
2	Високо вуглецеві, низько і середньо леговані сталі	4 - 5
3	Високолеговані сталі	5 - 7
4	Легкі сплави	10 - 20

Початкова швидкість осадки V_{oc} повинна бути не нижче певної границі, яка росте із збільшенням схильності металу до окислення (табл.1.8)

Таблиця 1.8 – Початкова швидкість осадки

№ п.п	Матеріали	Швидкість осадки, $V_{oc}, 10^{-3} \text{ м/с}$
1	Маловуглецеві сталі	Не менше 40
2	Середньовуглецеві і низьколеговані сталі	40 - 50
3	Високовуглецеві і середньолеговані сталі	40 - 50
5	Високолеговані нержавіючі сталі	30 - 50
6	Алюміній і його сплави	60 - 80

Час оплавлення і осадки визначається за формулою:

$$t_{onл} = \Delta_{oc} / V_{onл}; \quad t_{oc} = \Delta_{oc} / V_{oc} \quad (1.8)$$

Час зварювання визначається:

$$t_{зв} = t_{onл} + t_{oc} \quad (1.9)$$

Припуски можна визначити за формулами:

- на осадку

$$\Delta_{oc} = (0,2 - 0,3) \Delta_{зв} \quad (1.10)$$

- на оплавлення:

$$\Delta_{опл} = (0,7-0,8) \Delta_{зв} \quad (1.11)$$

Зусилля осадки (P_{oc}), яке визначає якість з'єднання і залежить від степені нагріву деталей і її швидкості, орієнтовно вибирається в залежності від марки зварюваного матеріалу і площі поперечного перерізу.

Зусилля осадки визначається за формулою:

$$P_{oc} = p \cdot F \quad (1.12)$$

де p – питоме зусилля осадки, МПа

F – площа поперечного перерізу зварюваних деталей, м².

Величина питомого зусилля осадки вибирається в залежності від марки матеріалу і перерізу зварювальних деталей (табл.1.9)

Таблиця 1.9 – Орієнтовне питоме зусилля осадки при зварюванні різних матеріалів

№п.п	Матеріали	Питомий тиск, МПа	
		Непер. опл.	Опл. з підігр.
1	Маловуглецеві сталі	20 - 50	20 - 40
2	Середньовуглецеві сталі	30 - 60	20 - 40
3	Високовуглецеві сталі	70 - 100	40 - 60
4	Низьколеговані сталі	100 -110	40 - 60
5	Середньолеговані сталі	100-120	40 - 60
6	Високолеговані сталі	100 - 180	60-120
10	Мідь і її сплави	140 - 180	-
11	Титан	30 - 60	30 - 40
13	Алюміній і його сплави	120 - 200	-

Зусилля, яке необхідно для затискування деталей, визначається за формулою:

$$P_{зат.} = \frac{P_{oc}}{f_1 + f_2} \quad (1.13)$$

де f_1, f_2 – коефіцієнт тертя для губок ($f_1=0,25; f_2=0,30$)

Зусилля $P_{зат}$ можна також визначити за іншою формулою:

$$P_{зат} = K_{зат} P_{oc} \quad (1.14)$$

де $K_{зат}$ – коефіцієнт затискання (табл.1.10).

Таблиця 1.10 – Значення коефіцієнта затискання

№з/п	Зварювані зразки	$K_{зат.}$
1	Труби і прутки з маловуглецевої сталі	1,5-2,0
2	Прутки з хромонікелевих сталей	2,2-3,0
3	Діловий прокат	2,3-3,2
4	Алюмінієвий прокат	2,7
5	Алюмінієвий прокат, якщо на губках є насічка	0,8-1,0

4.2 Розрахунок струму зварювання

Зварювальний струм визначають із рівняння теплової потужності, яка виділяється на краях деталей при оплавленні

$$Q_{опл} = Q1 + Q2 + Q3 \quad (1.15)$$

де $Q_{опл}$ – кількість тепла, яке виділяється в стику;

$Q1$ - кількість тепла, яке виділяється для розплавлення перемичок;

$Q2$ - кількість тепла, яке виділяється на нагрів деталей в зоні стику;

$Q3$ - кількість тепла, яке поширюється в деталі.

Визначаємо $Q1$ за формулою:

$$Q1 = K V_{опл} F \cdot c \cdot \gamma (T_{опл} - T1) \quad (1.16)$$

де K – коефіцієнт, який враховує викид металу у вигляді капель, $K=0,7$

$V_{опл}$ – швидкість оплавлення, м/с;

F - площа поперечного перерізу зварюваних деталей, м²;

C – питома теплоємність, Дж/кг;

γ – густина, кг/м³;

$T_{опл}$ – температура в місті оплавлення, $T_{опл} = 2270$ К;

$T1$ - початкова температура в момент контакту, К:

$$T1 = \frac{T_{кім} + T_{опл}}{2} \quad (1.17)$$

Кількість тепла $Q2$ визначаємо за формулою:

$$Q2 = m_0 V_{опл} F \cdot c \cdot \gamma \cdot \frac{T_{пл} + T_{під}}{T_{пл}} \quad (1.18)$$

де m_0 – питома теплота плавлення, Дж/кг;

$T_{під}$ – температура попереднього підігріву, °К;

$T_{пл}$ – температура плавлення металу, °К.

Величину $Q3$ визначаємо за формулою:

$$Q_3 = 2 \cdot \lambda \cdot F \cdot dt/dx \quad (1.19)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності, Дж/м с К

dt/dx – градієнт температур, °К/м.

Зварювальний струм визначається із рівняння теплової потужності, яка виділяється на краях деталей при оплавленні:

$$I_0 = \sqrt{\frac{Q_{опл}}{R_{опл}}} \quad (1.20)$$

де $R_{опл}$ – опір зони оплавлення, Ом;

I_0 – діюче значення струму, А.

Для умов встановленого, неперервного і інтенсивного процесів $R_{опл}$ визначається за формулою:

$$R_{опл} = V_{опл} \cdot \gamma \cdot c \cdot T_{опл} / j^2 \cdot F \quad (1.21)$$

Величину $R_{опл}$ можливо визначити також за формулою:

$$R_{опл} = K \cdot 9500 / j^3 \sqrt{V_{опл} \cdot F^2} \quad (1.22)$$

де $R_{опл}$ – опір контактної поверхні, мкОм;

K – коефіцієнт, що враховує властивості сталі (вуглецеві, низько і середньолеговані сталі – $K=1$, високолеговані $K=1,1$);

F – переріз деталі, мм²;

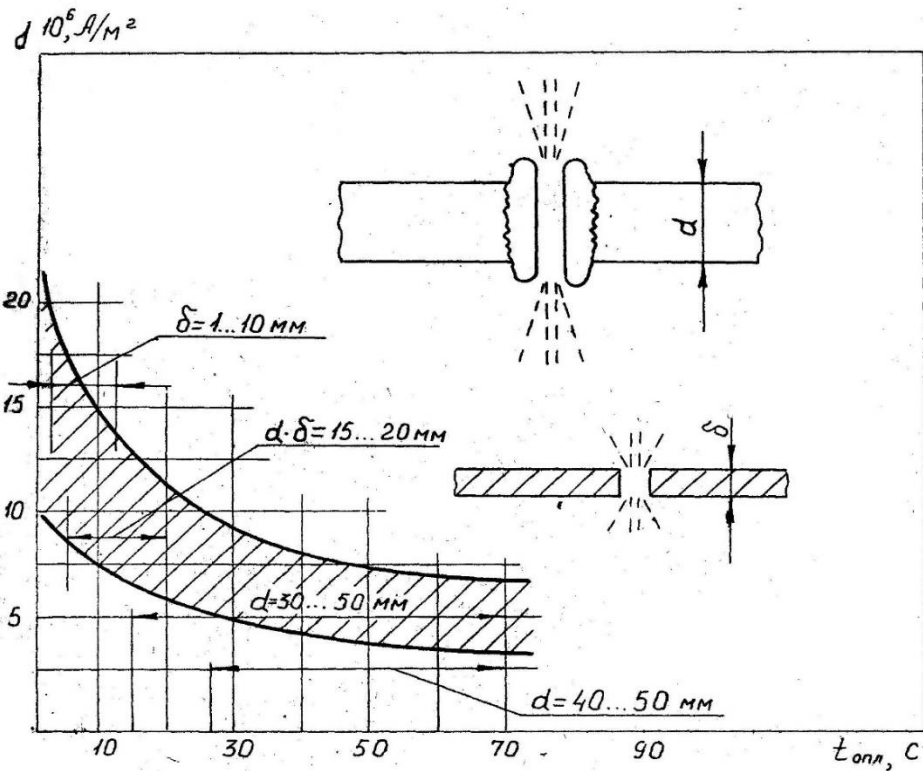
$V_{опл}$ – швидкість оплавлення, мм/с;

j – густина струму, А/мм²

Густина струму і час оплавлення для сталевих деталей визначається із графіка на рисунку 1.3.

Для збудження оплавлення необхідно мати певний запас стійкості, який характеризується відношенням струму короткого замикання до середнього зварювального струму: $I_{кз}/I_0$, його величину визнаємо з формул:

- тонкостінні вироби $I_{кз}/I_0 \geq 2,5 \div 3$
- компактні $I_{кз}/I_0 \geq 5$



δ – товщина пластини; d – діаметр стержнів; j – густина струму; $t_{опл}$ – час оплавлення.

Рисунок 1.4 – Рекомендовані значення густини струму і часу оплавлення

5 Розрахунок параметрів стикового зварювання оплавленням з підігрівом.

5.1 Розрахунок параметрів режиму зварювання

Установочну довжину визначають за формулою:

- для круглого перерізу, діаметром d і квадрата:

$$L1 + L2 = (0,75 \div 1)d \quad (1.23)$$

- для прямокутного перерізу (зварювання смуг металу)

$$L1 + L2 = (4 \div 5)\delta \quad (1.24)$$

- для труб з зовнішнім діаметром D_n

$$L1 + L2 = (0,5 \div 1)D_n \quad (1.25)$$

Припуск на зварювання вибирають в залежності від площі поперечного перерізу деталей (табл.1.11)

$$\Delta z_v = \Delta n_{id} + \Delta o_{пл} + \Delta o_c \quad (1.26)$$

де Δz_v – припуск на зварювання оплавлення з підігрівом, м;

Δn_{id} – припуск на підігрів, м;

$V_{опл}$ – припуск на оплавлення, м;

Δo_c – припуск на осадку, м.

Осадка може приводитись під струмом і без нього, тобто:

$$\Delta o_c = \Delta o_c. ст. + \Delta 'o_c \quad (1.27)$$

де $\Delta o_c. ст.$ – припуск на осадку під струмом, м;

Δo_c – припуск на осадку без струму, м.

Визначаємо компоненти осадки:

$$\Delta 'z_v = (0,3 \div 0,5) \Delta z_v \quad (1.28)$$

де Δz_v – припуск на зварювання оплавленням, м:

$$\Delta n_{id} = (0,1 \div 0,2) \Delta 'z_v \quad (1.29)$$

$$\Delta o_{пл} = (0,6 \div 0,7) \Delta 'z_v \quad (1.30)$$

$$\Delta o_c = (0,2 \div 0,3) \Delta 'z_v \quad (1.31)$$

$$\Delta o_c. ст. = (0,5 \div 1,0) \Delta o_c \quad (1.32)$$

Зусилля осадки і затиску деталей визначаємо аналогічно, як для зварювання неперервним оплавленням.

Визначаємо швидкість підігріву, оплавлення і осадки. Величина цих параметрів залежить від густини струму, марки сталі, степені підігріву.

Швидкість підігріву, а значить і час підігріву визначається експериментально в залежності від температури необхідного підігріву а швидкість оплавлення від інтенсивності і тривалості підігріву та вибирається з таблиць 1.8, 1.9

Таблиця 1.8 – Швидкість оплавлення різних матеріалів

№з/п	Матеріали	Швидкість оплавлення, $V_{опл}, 10^{-3} \text{ м/с}$
1	Мало і середньовуглецеві сталі	2,5-3,0
2	Високовуглецеві, низько і середньо леговані сталі	3,0-4,0
3	Високолеговані сталі	3,5-4,5
4	Алюміній і сплави	10 - 20

Таблиця 1.9 – Швидкість осадки при зварюванні оплавленнями з підігрівом

№з/п	Матеріали	Швидкість осадки, $V_{oc}, 10^{-3} \text{ м/с}$
1	Маловуглецеві сталі	10-15
2	Середньовуглецеві і низьколеговані сталі	10 - 20
3	Високовуглецеві і середньолеговані сталі	10 - 25
5	Високолеговані сталі	30-50
6	Алюміній і його сплави	60-80

Середній час підігріву, оплавлення і осадки визначається за формулами:

$$t_{nid} = \frac{\Delta_{pid}}{V_{pid}}; \quad (1.33)$$

$$t_{oc} = \frac{\Delta_{oc}}{V_{oc}}; \quad (1.34)$$

$$t_{opl} = \frac{\Delta_{opl}}{V_{opl}}; \quad (1.35)$$

Час зварювання визначається:

$$t_{zv} = t_{nid} + t_{opl} + t_{oc} \quad (1.36)$$

При зварюванні оплавленнями з підігрівом в більшості випадків використовують відносно невеликі густини струму, в наслідок чого тепло, що виділяється безпосередньо в зварюваних деталях при оплавленні має незначні величини. В наслідок чого підігрів повинен бути достатнім для отримання температури :

$$T_{\delta} = (0,4 \div 0,8) T_{nl} \quad (1.37)$$

де T_{δ} – температура нагріву деталей на ділянці, що визначається величиною осадки.

5.2 Розрахунок струму підігріву і оплавлення

Тепловий розрахунок при зварюванні оплавленнями з підігрівом проводиться наступним чином:

визначаємо температуру T_{δ} для деталей:

$$T_{\delta} = (0,4 \div 0,8) T_{nl} \quad (1.38)$$

Визначаємо температуру необхідного підігріву:

$$T_{nid} = (0,8 \div 1,0) T_{\delta} \quad (1.39)$$

величина струму визначається за формулою:

$$I_{ni\partial} = \sqrt{\frac{\gamma c F^2 T_{під}}{k_3 \rho_t t_{під}}} \quad (1.40)$$

де γ – густина матеріалу;

C – теплопровідність;

F – площа зварюваних деталей;

k_3 - коефіцієнт пропорційності, $k_3=0,7$;

ρ_t = питомий опір при температурі $T_{під}$;

$t_{ni\partial}$ – час підігріву.

Струм оплавлення деталей визначається аналогічно, як для зварювання неперервним оплавленням.

6 Завдання для розрахунку параметрів режиму зварювання

Кожному студенту видається індивідуальне завдання, згідно якого студент повинен провести вибір і розрахунок основних параметрів контактної зварювання.

Розрахувати та підібрати основні параметри стикового зварювання.

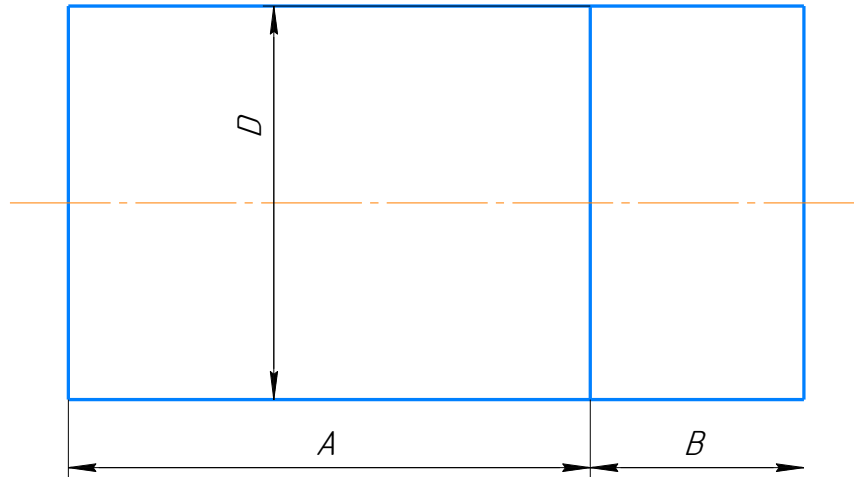


Рисунок 2.1 Ескіз виробу № 9

Таблиця 2.1 Перелік завдань для виробу № 9.

№ завдання	Розміри виробу, мм			Матеріал
	D	A	B	
1.	15	1200	800	Ст. 3
2.	22	800	500	30ХГСА
3.	40	400	300	X18H10T
4.	20	200	100	Сталь 45
5.	32	300	300	Ст.3
6.	16	200	50	Ст. 45 + P18
7.	18	300	60	Ст.45 + P9
8.	24	200	100	Ст.3 + X18H10T
9.	30	250	150	Ст.45 + P18
10.	32	400	250	Ст.45+Ст.3

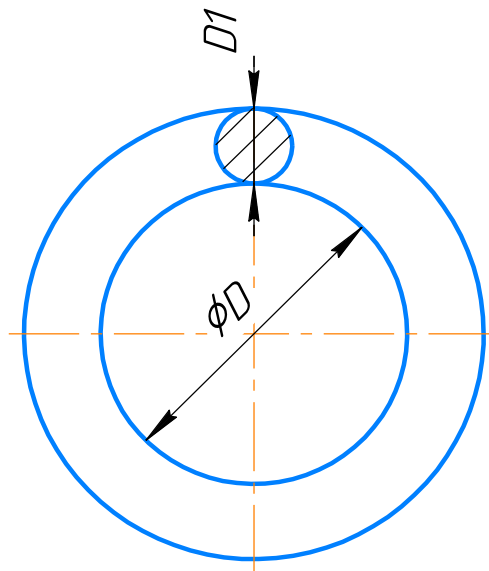


Рисунок 2.2 Ескіз виробу № 10

Таблиця 2.2 Перелік завдань для виробу № 10.

№ завдання	Розміри виробу, мм		Матеріал
	D	D1	
1.	600	12	Ст. 3
2.	400	20	30ХГСА
3.	800	28	X18H10T
4.	600	22	Сталь 45
5.	750	30	Алюміній
6.	500	10	АМГ-6
7.	1000	32	Ст.3
8.	1200	24	30ХГСА

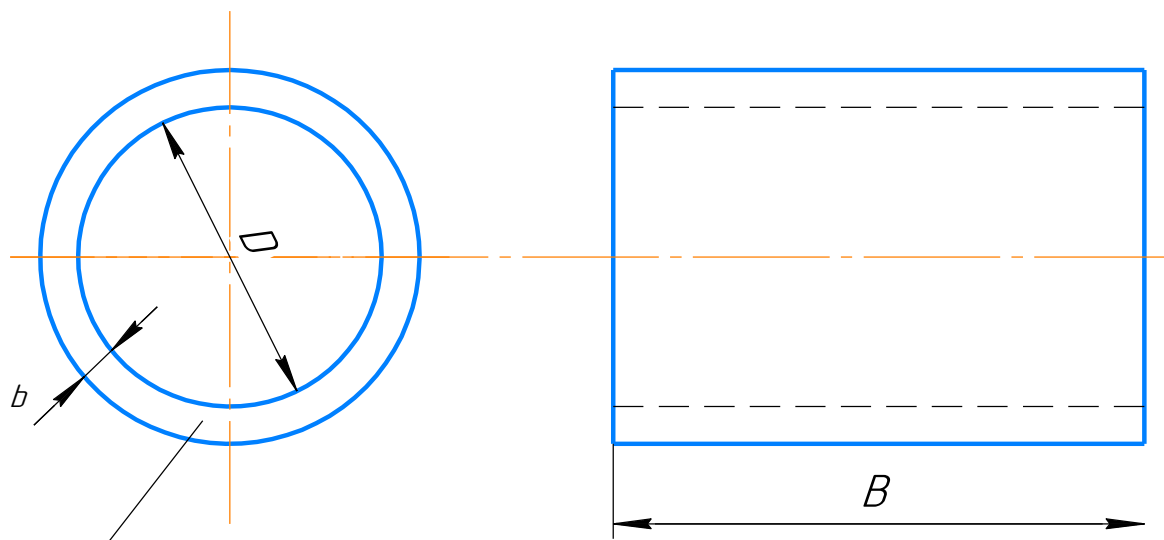


Рисунок 2.3 Ескіз виробу № 11

Таблиця 2.3 Перелік завдань для виробу № 11.

№ завдання	Розміри виробу, мм			Матеріал
	D	b	B	
1.	600	10	30	Ст.3
2.	500	8	20	X18H10T
3.	550	12	15	Ст.45
4.	400	6	40	X18H10T
5.	800	15	25	30XГСА
6.	450	4	20	Алюміній
7.	600	5	24	Латунь Л62

Перелік посилань

1. Орлов Б.Д., Чакаев А.А., Дмитриев Ю.В. и др. "Технология и оборудование контактной сварки." - М.: Машиностроение, 1986, 352 с.

2. Орлов Б.Д., Чакаев А.А., Дмитриев Ю.В. "Технология и оборудование контактной сварки." - М.: Машиностроение, 1975, 536 с.

4. Гельман А.С. "Теоретические основы контактной сварки." - М.: Машиностроение, 1962, 90 с.

5. Чулошников П.Л. Точечная и роликовая электросварка легированных сталей и сплавов. - М.: Машиностроение, 1968, 199 с.

6. Кучук – Яценко С.И. Контактная стыковая сварка оплавлением . – Київ.: Наукова думка , 1992, 236 с.