

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

**ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ЗВАРЮВАННЯ  
ТИСКОМ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ ДЛЯ  
СТУДЕНТІВ**

за напрямом 6.050504 "зварювання",  
Спеціальності – 7.092301 – "технологія та устаткування зварювання",  
7.092302 – "зварювальні установки", 7.092303 – "технологія і  
устаткування відновлення та підвищення зносостійкості машин і  
конструкцій"

**Затверджено Методичною радою НТУУ «КПІ»**

**Київ  
2009**

ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ЗВАРЮВАННЯ ТИСКОМ:

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ ДЛЯ  
СТУДЕНТІВ

ЗА НАПРЯМОМ 6.050504 "ЗВАРЮВАННЯ",  
СПЕЦІАЛЬНОСТІ – 7.092301 – "ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ  
ЗВАРЮВАННЯ", 7.092302 – "ЗВАРЮВАЛЬНІ УСТАНОВКИ", 7.092303 –  
"ТЕХНОЛОГІЯ І УСТАТКУВАННЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ  
ЗНОСОСТІЙКОСТІ МАШИН І КОНСТРУКЦІЙ". \УКЛАД.: Є. П. ЧВЕРТКО,  
В. А. ПАХАРЕНКО, В. В. СИРОВАТКА, 2009. – 28с.

*Гриф надано Методичною радою НТУУ «КПІ»*

*(Протокол №8 від 23.04.2009р.)*

## ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ЗВАРЮВАННЯ ТИСКОМ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ ДЛЯ  
СТУДЕНТІВ

ЗА НАПРЯМОМ 6.050504 "ЗВАРЮВАННЯ",  
СПЕЦІАЛЬНОСТІ – 7.092301 – "ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ  
ЗВАРЮВАННЯ", 7.092302 – "ЗВАРЮВАЛЬНІ УСТАНОВКИ", 7.092303 –  
"ТЕХНОЛОГІЯ І УСТАТКУВАННЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ  
ЗНОСОСТІЙКОСТІ МАШИН І КОНСТРУКЦІЙ"

Укладачі: Чвертко Є. П., Пахаренко В. А., Сироватка В. В.

Рецензент: проф. Кузнєцов В. Д.

## 1. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ КОНТАКТНОГО ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Основними параметрами режиму контактного точкового зварювання є зусилля між електродами, час зварювання, сила зварювального струму. Вихідними даними до розрахунку є товщини та матеріал зварюваних деталей.

Основним параметром з'єднання при контактному точковому зварюванні є діаметр ядра  $d_{\text{я}}$ . Іншими параметрами з'єднання є величини проплавлення  $h$ ,  $h_1$ , глибина вм'ятин  $g$ ,  $g_1$ , величина напуску  $B$ , відстань від центра точки до краю напуску  $u$  та крок точок  $l$  (див. рис. 1.1, табл. 1.1).

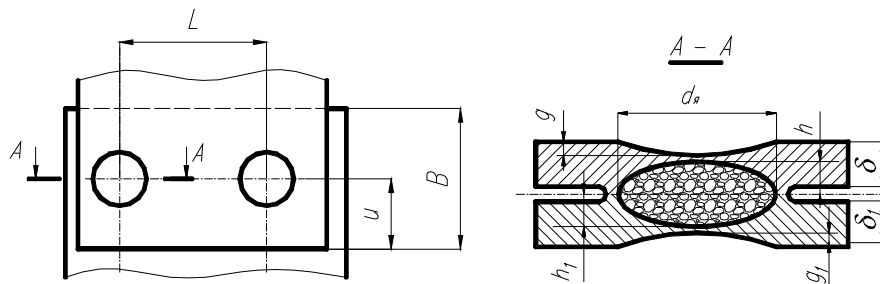


Рисунок 1.1. Параметри зварного з'єднання при контактному точковому зварюванні

Залежно від матеріалу деталей та їх товщини для точкового зварювання застосовують різні цикли зміни зусилля між електродами та зварювального струму (табл. 1.2, 1.3).

Таблиця 1.1. Параметри зварних з'єднань згідно ГОСТ 15878-70

Товщин а деталей $\delta$ , м $\cdot 10^{-3}$	Параметри, м $\cdot 10^{-3}$				Товщин а деталей $\delta$ , м $\cdot 10^{-3}$	Параметри, м $\cdot 10^{-3}$			
	$d_{я}$ , не менше	$l$ , не менше	$B_{min}$			$d_{я}$ , не менше	$l$ , не менше	$B_{min}$	
			чорні метали і сплави	кольо- рові метали і сплави				чорні метали і сплави	кольо- рові метали і сплави
0,3 – 0,4	2,5	8	7	10	2,2 – 2,7	8	30	19	22
0,4 – 0,6	3	10	8	10	2,7 – 3,2	9	35	21	26
0,6 – 0,8	3,5	11	10	12	3,2 – 3,7	10,5	40	24	28
0,8 – 1	4	15	11	14	3,7 – 4,2	12	45	28	32
1 – 1,3	5	17	12	16	4,2 – 4,7	13	50	31	36
1,3 – 1,6	6	20	14	18	4,7 – 5,2	14	55	34	40
1,6 – 1,8	6,5	22	15	19	5,2 – 5,7	15	60	38	46
1,8 – 2,2	7	25	17	20	5,7 – 6	16	65	42	50

Примітка: 1. для спрощення у подальших розрахунках вважати  $d_{я} = d_K$  – діаметр контакту електрода з деталлю.

2. при  $\delta_1 \neq \delta_2$  діаметр ядра та розміри інших конструктивних елементів обирають за меншою з товщин.

3. допустима величина проплавлення  $h$  складає 20 – 80 % товщини деталей (для титанових сплавів – до 95 %, для магнієвих – до 70 %).

4. глибина вм'ятини  $g$  не повинна перевищувати 20 % товщини деталі.

5.  $u = 0,5B_{min}$ .

Таблиця 1.2. Рекомендовані параметри режиму зварювання для деталей однакової товщини на машинах змінного струму

Мате- ріал	Товщи- на дета- лей, мм	Параметри режиму		Циклограма
		Зусилля елек- тродів $F_{зв}$ , кН	Час $t_{зв}$ , с	
Низьковуглецеві сталі	0,5	1,2 – 1,8	0,08	
	0,8	2 – 2,5	0,12	
	1	2,5 – 3	0,14	
	1,2	3 – 4	0,16	
	1,5	4 – 5	0,18	
	2	6 – 7	0,22	
	3	9 – 10	0,26	
	3,5	11 – 12	0,34	
	4	13 – 15	0,5	

Продовження таблиці 1.2

Матеріал	Товщина деталі, мм	Параметри режиму		Циклограма
		Зусилля електродів $F_{зв}$ , кН	Час $t_{зв}$ , с	
Низьколеговані сталі, схильні до закалювання	0,5	2 – 3	0,36	<p> <math>t_{н} = (1,1...1,2)t_{зв}</math>, <math>t_{д} = (2,5...3)t_{зв}</math>,  <math>I_{д} = (0,7...0,85)I_{зв}</math> </p>
	0,8	2,5 – 3,5	0,4	
	1	4 – 5	0,46	
	1,2	5 – 6	0,5	
	1,5	6 – 8	0,6	
	2	8 – 10	0,78	
	2,5	10 – 12	1	
Корозійно-стійкі сталі	0,5	2,5 – 3	0,1	
	0,8	3 – 4	0,14	
	1	3,5 – 4,5	0,18	
	1,2	4,5 – 5,5	0,2	
	1,5	5 – 6	0,22	
	2	8 – 9	0,26	
	2,5	10 – 11	0,32	
3	12 – 14	0,36		
Титанові сплави	0,5	1 – 1,5	0,1	
	0,8	1,5 – 2	0,14	
	1	2 – 2,5	0,16	
	1,2	2,5 – 3	0,18	
	1,5	3 – 3,5	0,2	
	2	4 – 5,5	0,24	
	2,5	6 – 7,5	0,3	
3	8 – 10	0,34		
Жаростійкі сплави	0,5	5 – 6	0,2	
	0,8	6,5 – 8	0,28	
	1	8 – 10	0,36	
	1,2	10 – 12	0,44	
	1,5	12 – 15	0,56	
	2	15 – 17	0,7	
	2,5	18 – 19	0,88	
3	20 – 21	1,2		

Закінчення табл. 1.2

Матеріал	Товщина деталі, мм	Параметри режиму		Циклограма
		Зусилля електродів $F_{зв}$ , кН	Час $t_{зв}$ , с	
Алюмінієві сплави	Сплави типу Д16АТ			
	0,5	2	0,08	
	0,8	3	0,1	
	1	4	0,12	
	1,5	4,5 ( $F_k = 10$ кН)	0,16 ( $t_k = 0,24$ с)	
	2	7 ( $F_k = 15$ кН)	0,20 ( $t_k = 0,3$ с)	
	Сплави типу АМГАМ			
	0,5	1,3	0,08	
	0,8	1,9	0,1	
	1	2,5	0,12	
	1,5	3,5	0,14	
	2	5	0,18	

Примітка: 1. Час зварювання обирають кратним періоду мережі живлення.

2. При зміні товщини деталей для обчислення параметрів зварювання користуються критеріями подібності:  $F \sim \delta^2$ ,  $t \sim \delta^2$ .

Величина зварювального струму, необхідна для утворення зварювальної точки, може бути визначена за законом Джоуля-Ленца:

$$I_D = \sqrt{\frac{Q_{ee}}{K_3 \cdot R_{д.кш} \cdot t_{зв}}} \quad (1.1)$$

де  $I_D$ , А – діюче значення струму будь-якої форми імпульсу (під  $I_D$  розуміємо умовну величину постійного струму, який викликає такий само тепловий ефект, як і діючий імпульс);  $Q_{ee}$ , Дж – теплота, яка виділяється при протіканні струму по ділянці електрод-електрод;  $K_3$  – коефіцієнт, який враховує зміну опору деталей під час зварювання, і становить:

для низьковуглецевих та низьколегованих сталей  $K_3 = 1,0 \dots 1,1$ ;

для алюмінієвих та магнієвих сплавів  $K_3 = 1,2 \dots 1,4$ ;

для нержавіючих сталей і титанових сплавів  $K_3 = 1,1 \dots 1,2$ .

Таблиця 1.3. Рекомендовані параметри режиму зварювання для деталей однакової товщини на низькочастотних машинах

Матеріал	Товщина деталей, мм	Параметри режиму				Циклограма
		Зусилля електродів, кН		Час, с		
		$F_{ЗВ}$	$F_K$	$t_{ЗВ}$	$t_K$	
Алюмінієві сплави	Сплави типу Д16АТ					
	0,5	2	5	0,04	0,04	
	0,8	3	6,5	0,04	0,06	
	1	4	9	0,06	0,08	
	1,5	5	14	0,08	0,1	
	2	7	19	0,1	0,14	
	2,5	9	26	0,12	0,16	
	3	12	32	0,16	0,22	
	4	28	60	0,2	0,28	
	Сплави типу АМгАМ					
	0,5	1,2	–	0,04	–	
	0,8	2	–	0,04	–	
	1	2,5	–	0,06	–	
	1,5	3,5	–	0,08	–	
	2	5	10	0,1	0,14	
	2,5	6,5	14	0,12	0,18	
3	8	20	0,16	0,2		
4	9	26	0,2	0,28		
Магнієві сплави	0,8	2	4	0,06	0,08	
	1	2,5	6	0,08	0,1	
	1,5	3,5	8	0,1	0,12	
	2	4,5	10	0,14	0,16	
	2,5	5,5	14	0,16	0,2	
	3	6,5	20	0,2	0,28	
	4	8	26	0,24	0,32	

$R_{д.кн}$ , Ом – опір деталей наприкінці нагрівання;  $t_{ЗВ}$ , с – технологічно доцільний час зварювання (табл. 1.2, 1.3).

Теплота  $Q_{еe}$  визначається за формулою:

$$Q_{ee} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (1.2)$$

де  $Q_1$ , Дж – енергія, яка витрачається на нагрівання до температури плавлення  $T_{пл}$ , К, стовпчика металу зварюваних деталей заввишки  $2\delta$  та діаметром основи  $d_я$ :

$$Q_1 = \frac{\pi d_я^2}{4} \cdot 2 \cdot \delta \cdot c \cdot \gamma \cdot \Delta T_{пл} \quad (1.3)$$

де  $c$ ,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ , та  $\gamma$ ,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  – відповідно теплоємність та густина металу, що зварюється;  $\Delta T_{пл} = T_{пл} - T_0$ , К, де  $T_{пл}$  – температура плавлення матеріалу деталей, К (див. табл. 1.4),  $T_0$  – початкова температура деталей, К, при зварюванні без попереднього підігрівання приймають  $T_0 = 273$  К;  $\delta$ , м – товщина однієї пластини;  $d_я$ , м – діаметр литого ядра зварної точки.

Таблиця 1.4. Деякі теплофізичні властивості металів

Матеріал	Питомий електроопір при 293 К $\rho_0$ , Ом·м·10 <sup>-6</sup>	Коефіцієнт теплопровідності при 293 К $\lambda$ , Вт/(м·К)	Коефіцієнт температуропровідності при 293 К $\alpha$ , (м <sup>2</sup> /К) · 10 <sup>-3</sup>	Питома теплоємність при 293 К $c_p$ , Дж/(кг·К) 10 <sup>3</sup>	Густина при 293 К $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	Температура плавлення, $T_{пл}$ , К
Низьковуглецеві сталі (типу 08 кп)	0,13	37,6 – 41,7	7,1 – 9	0,67	7830	1803
Середньовуглецеві низьколеговані сталі (типу 30ХГСА)	0,22	37,6 – 41,7	7,1 – 9	0,67	7830	1753
Нержавіючі сталі (типу Х18Н10Т)	0,7 – 1,2	25,0 – 33,3	5,3 – 7	0,67	7860	1713
Жароміцні сплави (типу Х15Н5Д2Т)	0,7 – 1,2	25,0 – 33,3	5,3 – 7	0,67	7860	1713
Титанові сплави (типу ОТ 4-1)	1 – 1,5	12,5 – 16,7	4,5 – 5	0,62	4520 – 4590	1973
Алюмінієві та магнієві сплави	0,04 – 0,06	117 – 146	45,4 – 63,9	0,92 – 1,29	2800 – 1770	893 – 927
Електродні сплави на основі міді	0,02 – 0,035	250 – 360	62 – 89,6	0,45	8900	1356



$Q_2$ , Дж – теплота, яка витрачається на нагрівання до температури  $\frac{\Delta T_{пл}}{4}$  металу кільця шириною  $X_2$ , яке оточує стовпчик розплавленого металу:

$$Q_2 = k_1 \cdot \pi \cdot X_2 \cdot (d_{я} + X_2) \cdot 2\delta \cdot c \cdot \gamma \cdot \frac{\Delta T_{пл}}{4} \quad (1.4)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт, близький до 0,8, який враховує те, що середня температура кільця нижча від  $\frac{\Delta T_{пл}}{4}$  у зв'язку із складним розподілом температури;  $X_2$ , м – ширина кільця, яке оточує ядро, визначається товщиною деталей, температуропровідністю  $a$  їхнього матеріалу та часом зварювання. На практиці приймають:

- для низьковуглецевих та низьколегованих сталей  $X_2 = 1,2 \sqrt{t_{зв}} \cdot 10^{-2}$ ,
- для нержавіючих сталей  $X_2 = 1,1 \sqrt{t_{зв}} \cdot 10^{-2}$ ,
- для алюмінієвих сплавів  $X_2 = 3,1 \sqrt{t_{зв}} \cdot 10^{-2}$ ,
- для міді та її сплавів  $X_2 = 3,3 \sqrt{t_{зв}} \cdot 10^{-2}$ ,
- для сплавів титану  $X_2 = 1,1 \sqrt{t_{зв}} \cdot 10^{-2}$ ,

де  $t_{зв}$ , с – час зварювання.

$Q_3$ , Дж – витрати теплоти на нагрівання умовного циліндра металу електродів заввишки  $X_3$  і діаметром  $d_{я}$  до середньої температури  $\Delta T_{пл}/8$ :

$$Q_3 = 2k_2 \cdot \frac{\pi \cdot d_{я}^2}{4} \cdot X_3 \cdot c_e \cdot \gamma_e \cdot \frac{\Delta T_{пл}}{8} \quad (1.6)$$

де  $k_2$  – коефіцієнт, який враховує форму робочої поверхні електрода:

- для циліндричного електрода із плоскою робочою поверхнею  $k_2 = 1$ ;
- для конічного електрода із плоскою робочою поверхнею  $k_2 = 1,5$ ;
- для електрода із сферичною робочою поверхнею  $k_2 = 2,0$ .

Для зварювання сталей застосовують електроди із плоскою робочою поверхнею. Сферичну форму робочої поверхні застосовують при зварюванні легких сплавів.

$X_3$ , м – визначається часом зварювання і температуропровідністю металу електродів:

$$X_3 = 3,3 \sqrt{t_{зв}} \cdot 10^{-2}, \quad (1.7)$$

$c_e, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}, \gamma_e, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , – теплоємність та густина металу електродів відповідно (див. табл. 1.4).

Опір деталей наприкінці нагрівання  $R_{д.кін}$  визначається за довідковими даними, які одержані при зварюванні на номінальних режимах та номінальних розмірах литої зони з'єднань (див. табл. 1.5).

Таблиця 1.5. Середні значення опору  $R_{д.кін}$  (Ом  $10^{-6}$ )

Матеріал	$\delta$ , мм					
	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
Низьковуглецеві сталі (типу 08 кп)	150	135	115	100	90	75
Середньовуглецеві низьколеговані сталі (типу 30ХГСА)	115	145	125	110	100	90
Нержавіючі сталі (типу Х18Н10Т)	215	185	150	130	120	110
Жароміцні сплави (типу Х15Н5Д2Т)	145	165	135	120	110	100
Титанові сплави (типу ОТ 4-1)	240	210	165	145	133	120
Латуні	76	48	30	24	20	18
Бронзи	90	63	40	32	27	23
Алюмінієві сплави	18	16	13	11	10	8

При зварюванні одиночної точки еквівалентний опір приймають рівним  $R_{ЕКВ} = R_{д.кін}$ .

При зварюванні другої та подальших точок струм частково шунтується через попередні з'єднання (див. рис. 1.2).

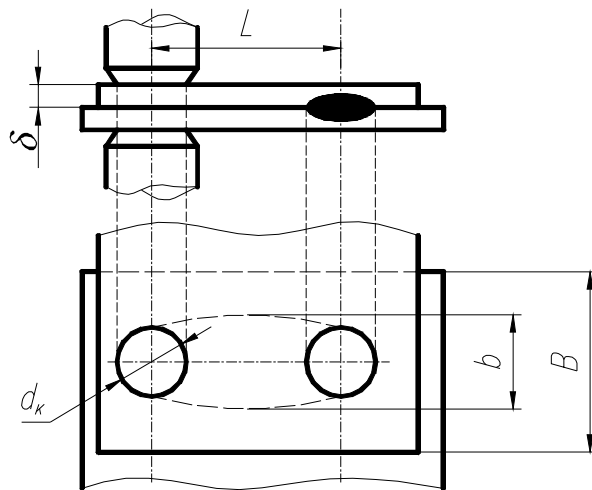


Рис. 1.2. До визначення опору шунтування при точковому зварюванні

$r_{ш}$ , Ом – опір шунта, визначають за формулою:

$$r_{ш} = K_{п} \cdot \rho_{т} \frac{2l}{b \cdot \delta} \quad (1.8)$$

де  $K_{п}$  – коефіцієнт поверхневого ефекту (табл. 1.6).

Таблиця 1.6. Залежність коефіцієнта поверхневого ефекту від товщини листів, що зварюються

$\delta, \text{ м} \cdot 10^{-3}$	1	1,5	2	3	4	5	6	9
$K_{п}$	1	1,2	1,3	1,5	1,9	2,6	3	3,6

Примітка: у разі зварювання на машинах постійного струму або низькочастотних прийняти  $K_{п} = 1$ .

$\rho_{т}$ , Ом·м – питомий електричний опір матеріалу пластин при температурі, яка дорівнює 0,2...0,4  $T_{пл}$ . У розрахунках можна прийняти:

- для низьковуглецевих та низьколегованих сталей  $\rho_{т} = 80 \cdot 10^{-8}$  Ом·м
- для нержавіючих сталей  $\rho_{т} = 110 \cdot 10^{-8}$  Ом·м
- для алюмінієвих сплавів  $\rho_{т} = 9,5 \cdot 10^{-8}$  Ом·м
- для сплавів титану  $\rho_{т} = 120 \cdot 10^{-8}$  Ом·м

$l$ , м – відстань між точками (обирають за даними табл. 1.1 або призначають з конструктивних міркувань).

$b$ , м – ширина смуги, по якій шунтується струм. Величину її знаходять із залежності:

$$b = \frac{\pi \cdot l}{\ln\left(\frac{2 \cdot l}{d_k}\right)} \quad (1.9)$$

Якщо розрахункове значення  $b > B$ , то у подальших розрахунках замість ширини смуги шунтування використовують величину напуску.

Тоді струм шунтування через раніше зварену точку, визначиться виразом:

$$I_{ш} = I_{д} \cdot \frac{R_{д.КНН}}{r_{ш}} \quad (1.10)$$

Струм у вторинному контурі машини  $I_2$ , визначають за формулою:

$$I_2 = I_{д} + I_{ш} \quad (1.11)$$

$R_{ЕКВ}$ , Ом – еквівалентний опір, що використовується для розрахунку потужності зварювального трансформатора, визначаємо за формулою:

$$R_{ЕКВ} = \frac{r_{ш} \cdot R_{д.КНН}}{r_{ш} + R_{д.КНН}} \quad (1.12)$$

## 2. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ КОНТАКТНОГО ШОВНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Основними параметрами режиму контактної шовної зварювання є зусилля між роликками, тривалість імпульсу струму та паузи між імпульсами, швидкість зварювання, сила зварювального струму. Вихідними даними до розрахунку є товщини та матеріал зварюваних деталей.

Основним параметром з'єднання при контактному шовному зварюванні є ширина литої зони  $d$ . Іншими параметрами з'єднання є величини проплавлення  $h$ ,  $h_1$ , глибина вм'ятин  $g$ ,  $g_1$ , величина напуску  $B$ , відстань від осі шва до краю напуску  $u$ , довжина литої зони  $l$ , крок точок  $l_1$ , перекриття литих зон шва  $f$  (див. рис. 2.1, табл. 2.1).

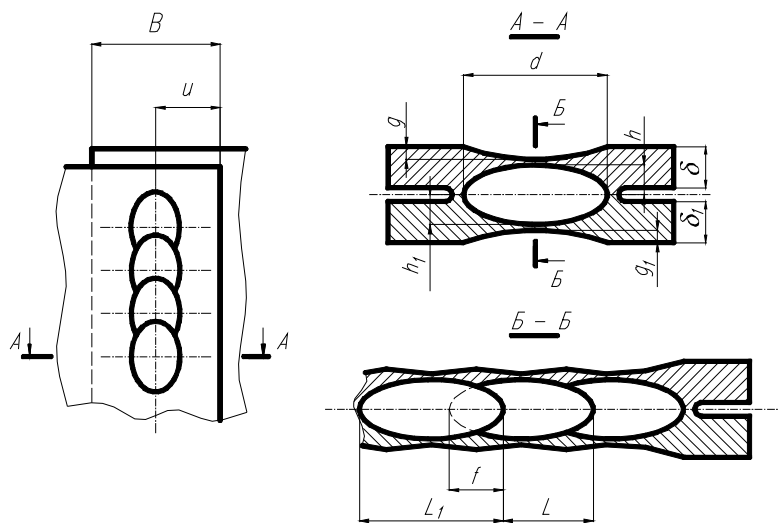


Рисунок 2.1. Параметри зварного з'єднання при контактному шовному зварюванні

Таблиця 2.1. Параметри зварних з'єднань згідно ГОСТ 15878-70

Товщина деталей $\delta$ , м $\cdot 10^{-3}$	Параметри, м $\cdot 10^{-3}$			Товщина деталей $\delta$ , м $\cdot 10^{-3}$	Параметри, м $\cdot 10^{-3}$		
	$d$ , не менше	$B_{min}$			$d$ , не менше	$B_{min}$	
		чорні метали і сплави	кольорові метали і сплави			чорні метали і сплави	кольорові метали і сплави
0,3	2,5	6	10	1,3 – 1,6	6	14	18
0,3 – 0,4	2,5	7	10	1,6 – 1,8	6,5	15	19
0,4 – 0,5	3	8	10	1,8 – 2,2	7	17	20
0,5 – 0,6	3	8	10	2,2 – 2,7	7,5	19	22
0,6 – 0,8	3,5	10	12	2,7 – 3,2	8	21	26
0,8 – 1	4	11	14	3,2 – 3,7	9	24	28
1 – 1,3	5	13	16	3,7 – 4	10	28	30

Примітка: 1. для герметичних швів величина перекриття литих зон  $f$  повинна становити 25 – 50 % довжини литої зони одиничного з'єднання  $l_1$ .

2. при  $\delta_1 \neq \delta_2$  розміри конструктивних елементів обирають за меншою з товщин.

3. допустима величина проплавлення  $h$  складає 20 – 80 % товщини деталей (для титанових сплавів – до 95 %, для магнієвих – до 70 %).

4. глибина вм'ятини  $g$  не повинна перевищувати 20 % товщини деталі.

5.  $u = 0,5B_{min}$ .

Для шовного зварювання на машинах змінного струму найчастіше застосовують цикл із безперервним обертанням роликів та переривчастим вмиканням струму (рис. 2.2, а). Для зварювання кольорових металів і сплавів на машинах постійного струму та низькочастотних – крокове зварювання (рис. 2.2, б).

Зусилля стискання між роликками  $F_{зв}$ , Н на практиці приймають:

– для низько- та середньовуглецевих конструкційних сталей, алюмінієвих сплавів:

$$F_{зв} = 500 + 2 \cdot 10^6 \cdot \delta \quad (2.1)$$

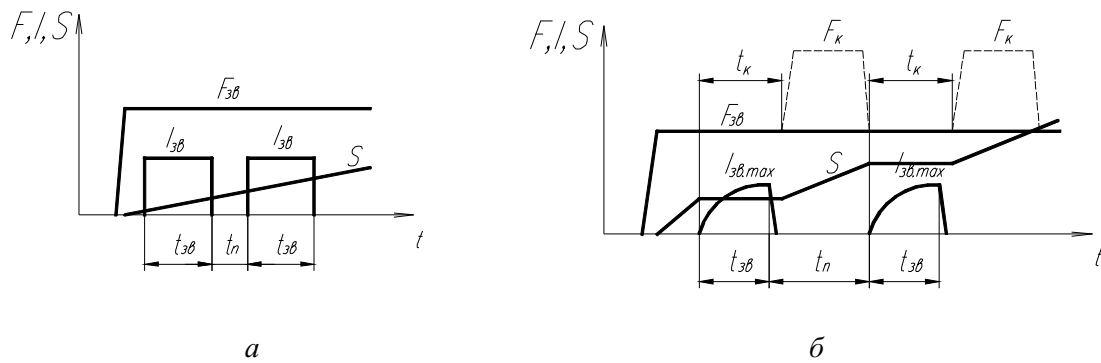


Рисунок 2.2. Цикли шовного зварювання: *a* – із безпервним обертанням роликів; *б* - крокове

– для нержавіючих сталей, жароміцних сплавів і титану:

$$F_{зв} = 2 \cdot (500 + 2 \cdot 10^6 \cdot \delta) \quad (2.2)$$

де  $\delta$ , м – товщина одного з листів, які зварюються.

При можливості неякісного складання та жорсткій конструкції, а також високій жорсткості матеріалу деталей зусилля стискання приймають на 10 % більше розрахункового значення.

Час протікання зварювального струму (тривалість одного імпульсу зварювального струму)  $t_{зв}$ , с:

– для низько- та середньо-вуглецевих сталей

$$t_{зв} = 0,04(1 + \delta^2 \cdot 10^6);$$

– для нержавіючих сталей

$$t_{зв} = 0,03(1 + \delta^2 \cdot 10^6); \quad (2.3)$$

– для алюмінієвих сплавів

$$t_{зв} = 0,02(1 + \delta^2 \cdot 10^6);$$

– для сплавів титану

$$t_{зв} = 0,03(1 + \delta^2 \cdot 10^6).$$

Відношення часу імпульсу  $t_{зв}$  до загального часу одного циклу зварювання  $t_{зв} + t_{п}$  ( $t_{п}$  – час паузи, с) визначають із залежності:

– для низько- та середньовуглецевих сталей	$\frac{t_{зв}}{t_{зв} + t_{п}} = 0,5...0,7$	
– для нержавіючих сталей та титану	$\frac{t_{зв}}{t_{зв} + t_{п}} = 0,4...0,6$	(2.4)
– для алюмінієвих сплавів	$\frac{t_{зв}}{t_{зв} + t_{п}} = 0,15...0,35$	

Відстань між сусідніми точками при шовному зварюванні  $l$ , мм, встановлюється у залежності від товщини деталей, які зварюються, а також вимог герметичності шва. Для герметичних швів при перекритті литих зон на 20...50 %  $l$  орієнтовно визначають за залежностями:

– для низько- та середньовуглецевих сталей	$l = (2,8...3,2) \cdot \delta$	
– для нержавіючих сталей та титану	$l = (2,4...2,8) \cdot \delta$	(2.5)
– для алюмінієвих сплавів	$l = (1,5...2,5) \cdot \delta$	

Швидкість зварювання  $V_{зв}$ , мм/с, можна визначити з відношення:

$$V_{зв} = \frac{l}{t_{зв} + t_{п}} \quad (2.6)$$

Величину діючого значення зварювального струму при шовному зварюванні, необхідну для формування одиничної точки  $I_{д}$ , А, можна визначити наближено за залежностями, які використовують для розрахунку  $I_{д}$  при точковому зварюванні. При цьому слід враховувати, що площа перерізу литої зони точки (у площині деталей, що зварюються) при шовному зварюванні буде більшою, ніж при точковому, за рахунок збільшення її розміру у напрямку зварювання. У розрахунках  $I_{д}$  належить прийняти:

$$d_{я} = (1,1...1,2) \cdot d \quad (2.7)$$

Опір деталей наприкінці нагрівання  $R_{д,кін}$  визначають за довідковими даними, які одержані при зварюванні на номінальних режимах та номінальних розмірах литої зони з'єднань (див. табл. 2.1).



Таблиця 2.1. Середні значення опору  $R_{д,кш}$  (Ом·10<sup>-6</sup>)

Матеріал	$\delta$ , мм				
	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0
Низьковуглецеві сталі (типу 08 кп)	110	95	80	70	50
Середньовуглецеві низьколеговані сталі (типу 30ХГСА)	145	130	105	85	65
Нержавіючі сталі (типу Х18Н10Т)	188	162	130	115	105
Жароміцні сплави (типу Х15Н5Д2Т)	170	145	115	105	95
Титанові сплави (типу ОТ 4-1)	224	195	154	135	124
Латуні	46	29	18	15	12
Бронзи	54	38	24	19	16
Алюмінієві сплави	—	14	11	10	—

Струм шунтування через раніше зварену точку  $I_{ш}$ , А, знаходимо з виразів:

$$I_{ш} = I_{д} \cdot \left( \frac{0,64}{1 - \frac{1}{\sqrt{\left[\frac{d_{я}}{2\delta}\right]^2 + 1}}} - 0,5 \right) \quad (2.8)$$

або

$$I_{ш} = I_{д} \cdot 3 \frac{\delta}{d_{я}} \quad (2.9)$$

Загальний вторинний струм машини  $I_2$ , А, визначається як сума двох струмів: діючого та шунтування:

$$I_2 = I_{д} + I_{ш} \quad (2.10)$$

Для визначення величини опору шунта  $r_{ш}$ , Ом, можна скористатися залежністю:

$$r_{ш} = R_{д.кин} \frac{I_{д}}{I_{ш}} \quad (2.11)$$

Еквівалентний опір на ділянці електрод-електрод  $R_{ЕКВ}$ , Ом, визначають за формулою:

$$R_{ЕКВ} = \frac{r_{ш} \cdot R_{д.кин}}{r_{ш} + R_{д.кин}} \quad (2.12)$$

### 3. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ КОНТАКТНОГО СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПОРОМ

Основними параметрами режиму контактного стикового зварювання опором є густина та сила зварювального струму, тривалість нагрівання, зусилля затискання деталей, початкове зусилля стискання, зусилля осадки, установча довжина. Вихідними даними до розрахунку є матеріал зварюваних деталей та геометричні характеристики їхніх перерізів.

Узагальнену схему процесу зварювання опором та типову циклограму наведено на рис. 3.1.

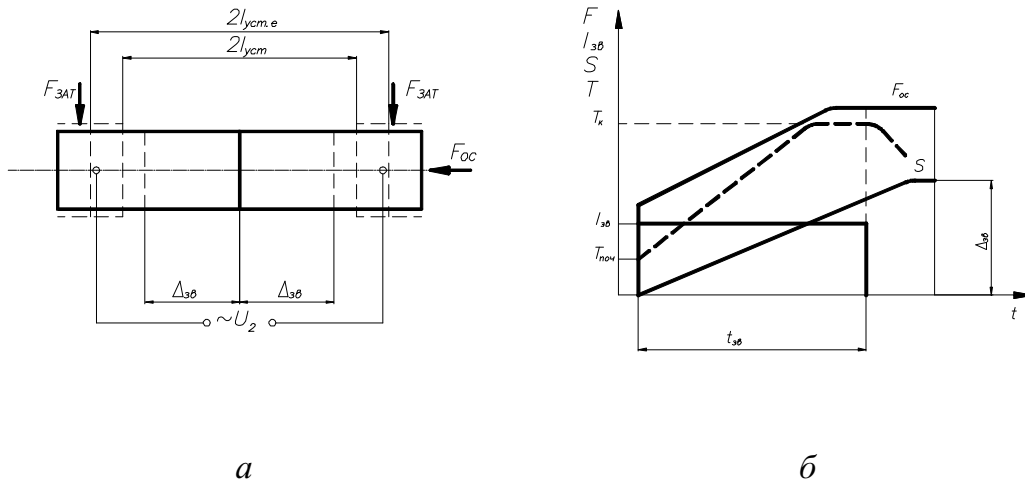


Рисунок 3.1 Узагальнена схема процесу зварювання опором (а) та типова циклограма (б)

Густина струму, необхідну для нагрівання зварюваних деталей, можна визначити за формулою, А/мм<sup>2</sup>:

$$j = \sqrt{\frac{2 \cdot T_k \cdot \lambda_{сер}}{\rho_{сер} \cdot l_{уст.е}^2 \cdot [1 - \exp(-2F_o)]}} \quad (3.1)$$

де  $\lambda_{сер}$ ,  $\rho_{сер}$  – відповідно середнє значення питомого опору (Ом·мм) та температуропровідності (Вт/(мм·°C)) зварюваного матеріалу (див. табл. 3.1).

$T_k$  – температура у контакті, °C. Як правило, при розрахунку режимів зварювання сталевих деталей її приймають рівною 1200...1300 °C, а при зварюванні алюмінієвих і мідних деталей – близькою до температури плавлення металу.

Таблиця 3.1. До розрахунку параметрів режиму зварювання опором

Параметр	Матеріал			
	Нержавіюча сталь (типу Х18Н10Т)	Сталь типу Ст3, Ст20	Мідь	Алюміній
$a_{сер}, \text{мм}^2/\text{с}$	5,4	6	96	83
$c_{сер}, \text{Дж}/(\text{г} \cdot \text{°C})$	0,54	0,71	0,43	1
$\rho_{сер} \cdot 10^{-6}, \text{Ом} \cdot \text{мм}$	970	800	58	74
$\lambda_{сер}, \text{Вт}/(\text{мм} \cdot \text{°C})$	0,023	0,033	0,37	0,23
$T_{пл}, \text{°C}$	1440	1530	1083	657
$\Delta l/d$	1		2	1,5
$l_{уст}/d$	1		2	1,5
$\Delta_{зв}/d$	0,5 – 1			
$t_{зв}/d^2, \text{с}/\text{мм}^2$	0,045	0,04		
$p_{ос}, \text{МПа}$	3 – 4		4 – 5	2 – 3

Примітка:  $d$ , мм – характеристичний геометричний розмір деталі. При зварюванні дротів  $d$  обирають рівним діаметру, при зварюванні деталей прямокутного перерізу – товщині деталі.

$l_{уст.е}$  – еквівалентна (розрахункова) установча довжина зварюваної деталі:

$$l_{уст} = l_{уст.е} + \Delta l \quad (3.2)$$

де  $l_{уст}$  – установча довжина деталі, мм;  $\Delta l$  – додаткова (умовна) установча довжина деталі всередині зварювальних губок, мм.

$F_o$  – критерій Фур'є:

$$F_o = \frac{a_{сер} \cdot t_{зв}}{l_{уст.е}^2} \quad (3.3)$$

де  $a_{сер}$  – середнє значення коефіцієнта температуропровідності (мм<sup>2</sup>/с) зварюваного матеріалу (див. табл. 3.1);  $t_{зв}$  – час нагрівання деталей, с (див. табл. 3.1).

Силу зварювального струму визначають за формулою:

$$I = j \cdot F \quad (3.4)$$

де  $F$  – площа перерізу деталі, мм<sup>2</sup>.

Зусилля осадки при зварюванні опором визначають із залежності, Н:

$$F_{ос} = p_{ос} \cdot F \quad (3.5)$$

де  $p_{ос}$ , МПа – тиск осадки, вибирається за даними табл. 3.1;  $F$ , м<sup>2</sup> – площа перерізу зварюваних деталей.

Зусилля затискання  $F_{зат}$  повинне перевищувати зусилля осадки не менш ніж у 4 рази.

Для попередньої оцінки необхідної потужності зварювального трансформатора за умови якісної підготовки торців та складання деталей опір між електродами можна обчислювати за формулою:

$$R_{EKB} = 2 \rho_{сер} \frac{l_{уст} \cdot e}{F} \quad (3.6)$$

При зварюванні тонких дротів (до 5 мм діаметром) та за умови можливості неякісного складання обчислений опір збільшують у 2–3 рази.

#### 4. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ КОНТАКТНОГО СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ БЕЗПЕРЕРВНИМ ОПЛАВЛЕННЯМ

Основними параметрами режиму контактної стикового зварювання безперервним оплавленням є густина та сила зварювального струму, швидкості зближення деталей під час оплавлення, перед осадкою та на початку осадки, припуски на зварювання, оплавлення та осадку, тривалість процесів оплавлення та осадки, зусилля осадки та затискання деталей. Вихідними даними до розрахунку є матеріал зварюваних деталей та геометричні характеристики їхніх перерізів.

Узагальнену схему процесу зварювання безперервним оплавленням та типову циклограму наведено на рис. 4.1.

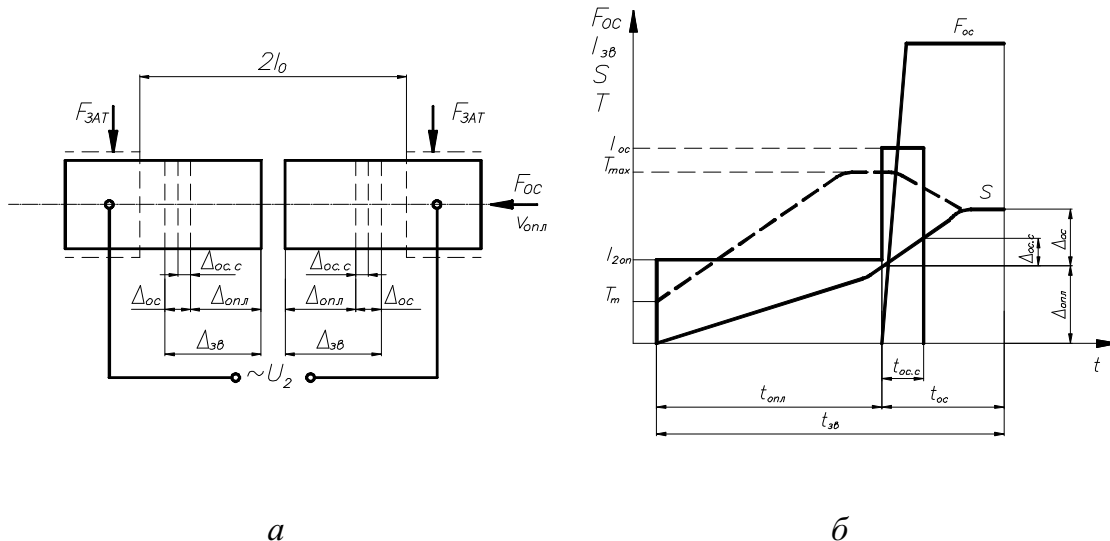


Рисунок 4.1 Узагальнена схема процесу зварювання безперервним оплавленням (а) та типова циклограма (б)

Електроенергетичні характеристики процесу оплавлення можна визначити за рівнянням балансу теплової потужності:

$$Q_{m.on} = F \cdot [q_{c.on} + q_{\lambda.on}], \quad (4.1)$$

де  $F$ , мм<sup>2</sup> – площа поперечного перерізу зварюваної деталі;

$Q_{т.оп}$ , Вт – середнє значення теплової потужності, яка розвивається на оплавлених торцях;

$q_{c.оп}$ ,  $q_{\lambda.оп}$ , Вт/мм<sup>2</sup> – відповідно середні значення питомої теплової потужності, що видаляється із стику із частками металу, та питомої потужності, яка відводиться у деталі за рахунок теплопровідності (табл. 4.1).

$$q_{c.on} = v_{p.z} \cdot \gamma \cdot [q_{on} - c_{тв} \cdot T_T], \quad (4.2)$$

де  $v_{p.z}$ , мм/с – швидкість переміщення рухомого затискача;

$c_{тв}$ , Дж/(мг·°C) – середня питома теплоємність зварюваного матеріалу у твердому стані (табл. 4.1);

$\gamma$ , мг/мм<sup>3</sup> – щільність матеріалу (табл. 4.1);

$T_T$ , °C – середня температура торців деталей під час оплавлення.

Для розрахунків  $q_{c.оп}$  на початку процесу зварювання приймають:  $v_{p.z} = v_{p.z.поч}$  (табл. 4.1),  $T_T \approx 20$  °C (при зварюванні безперервним оплавленням) або  $T_T \approx T_{п}$  (при зварюванні із попереднім підігріванням,  $T_{п}$ , °C – температура попереднього підігрівання).

Для розрахунків  $q_{c.оп}$  наприкінці процесу зварювання приймають:  $v_{p.z} = v_{опл}$  (табл. 4.1),  $T_T \approx T_{пл}$  ( $T_{пл}$ , °C – температура плавлення матеріалу (табл. 4.1)).

Таблиця 4.1. До розрахунку параметрів режиму зварювання безперервним  
оплавленням

Параметр	Матеріал				
	Вуглецеві сталі	Низьколеговані сталі	Аустенітні сталі	Алюмінієві сплави	Мідні сплави
Вміст теплоти одиничної маси металу, що видаляється із стику $q_{оп}$ , Дж/мг	2			1,6	1
Середня теплоємність твердого металу $c_{тв}$ , Дж/(мг·°C)	$7 \cdot 10^{-4}$			$1 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$
Щільність металу $\gamma$ , мг/мм <sup>3</sup>	7,86			2,7	8,94
Температура плавлення $T_{пл}$ , °C	1450	1450	1450	650	1083
Питома теплова потужність, яка відводиться із стику в деталі, $q_{л.оп}$ , Вт/мм <sup>2</sup>	10 – 16			30 – 45	80 – 120
Початкова швидкість переміщення рухомого затискача $v_{р.з.поч}$ , мм/с	0,1 – 0,5			0,5 – 1	
Швидкість оплавлення $v_{опл}$ , мм/с	0,8 – 1			5 – 10	
Швидкість осадки, $v_{ос}$ мм/с, не менше:					
- безперервним оплавленням	20 – 30	30 – 40	60 – 100	100 – 150	
- із попереднім підігрівом	15 – 20	20 – 30	40 – 80	100 – 150	
Тиск осадки $p_{ос}$ , МПа					
- безперервним оплавленням	50 – 70	80 – 100	120 – 180	150 – 200	
- із попереднім підігрівом	30 – 40	50 – 60	80 – 100	150 – 200	

Вторинна напруга неробочого ходу, мінімально необхідна для збудження процесу стійкого оплавлення, В:

$$U_{20.min} = \sqrt{K_c \cdot 2Z_{к.з}'' \cdot (1 + \cos\varphi_{к.з}) \cdot Q_{m.оп}} \quad (4.3)$$

де  $Q_{т.оп}$ , Вт – середнє значення теплової потужності, яка розвивається на оплавлених торцях;

$K_c$  – коефіцієнт стійкості оплавлення (на початку процесу  $K_c \geq 3 \dots 5$ , наприкінці оплавлення  $K_c \geq 2 \dots 3$ , причому більші значення відносяться до компактних перерізів, менші – до розвинених);

$Z''_{к.з}$ , Ом, та  $\cos\varphi_{к.з}$  – відповідно приведені до вторинної обмотки опір та коефіцієнт потужності силового кола при короткому замиканні торців деталей. У розрахунках можна наближено прийняти  $Z''_{к.з} = (100...150) \times 10^{-6}$  Ом,  $\cos\varphi_{к.з} = 0,4...0,6$ .

Для забезпечення безперервного процесу оплавлення вторинна напруга неробочого ходу трансформатора повинна складати:

$$U_{20} = (1...1,3) \cdot U_{20.min} \quad (4.4)$$

Зварювальний струм при оплавленні можна визначити з виразу:

$$I_{2on} \approx \frac{1,1Q_{m.on}}{U_{20} \cdot \alpha_{1on}}, \quad (4.5)$$

де  $\alpha_{1on}$  – значення коефіцієнта потужності під час оплавлення. При стійкому безперервному оплавленні  $\alpha_{1on} \approx 0,7$ .

Густину струму під час оплавлення можна визначити за формулою, А/мм<sup>2</sup>:

$$j = \frac{I_{2on}}{F} \quad (4.6)$$

Зусилля осадки, Н:

$$F_{oc} = p_{oc} \cdot F \quad (4.7)$$

де  $p_{oc}$ , МПа – тиск осадки (табл. 4.1).

Сумарну установчу довжину  $2l_0$ , величини припусків на оплавлення  $\Delta_{опл}$  і осадку  $\Delta_{oc}$  та час оплавлення  $t_{опл}$  визначають за даними табл. 4.2 у залежності від форми та розмірів поперечного перерізу деталей.



Таблиця 4.2. До розрахунку параметрів режиму зварювання безперервним оплавленням

Діаметр $d$ , мм	Параметр				Товщи на $\delta$ , мм	Параметр			
	$2l_0$ , мм	$\Delta_{опл}$ , мм	$\Delta_{ос}$ , мм	$t_{опл}$ , с		$2l_0$ , мм	$\Delta_{опл}$ , мм	$\Delta_{ос}$ , мм	$t_{опл}$ , с
5	8,5	2,5	1	1,5	1	11	4,4	1,6	1,8
6	10	3	1,2	1,8	2	21	8	3	4
8	14	4	1,6	2,5	3	29	11,2	4,3	6,3
10	17	5	2	3,3	4	38	14,7	5,3	9
15	25	8	3	6	5	45	16,7	6,3	12
20	34	10	3,5	9	6	50	18	7	16
35	60	15	5	25	8	60	22	8	25
50	80	20	8	40	10	66	23	9	34

Примітка. Величина припуску на осадку під струмом  $\Delta_{ос.с} = (0,5...0,8) \cdot \Delta_{ос}$ .

2. При зміні геометричних розмірів перерізу деталей для обчислення параметрів зварювання користуються критеріями подібності:  $l_0, \Delta_{опл}, \Delta_{ос} \sim l$ ,  $t_{опл} \sim l^2$  (1-).

Зусилля затискання, Н:

$$F_{зат} = K_{зат} \cdot F_{ос} \quad (4.8)$$

де  $K_{зат}$  – коефіцієнт затискання, визначають за табл. 4.3.

Таблиця 4.3. Значення коефіцієнту затискання

Зразки, що зварюються	$K_{зат}$
Труби та прутки з низьковуглецевої сталі	1,5...2,0
Прутки з хромонікелевих нержавіючих сталей	2,2...3,0
Листовий прокат	2,3...3,2
Алюмінієві смуги	2,7
Алюмінієві смуги, якщо на губках є насічка	0,8...1,0

Примітка. При зварюванні короткомірних зразків у машинах, що обладнані упорами, які компенсують проковзування деталей при осадці, коефіцієнт затискання зменшується до 0,5.

Для попередньої оцінки необхідної потужності зварювального трансформатора опір між струмопідводами можна прийняти:

$$R_{ЕКВ} = R_{опл} \quad (4.9)$$

де  $R_{опл}$  – опір оплавлення, який у разі зварювання сталевих деталей визначають наближено за формулою, Ом:

$$R_{опл} = \frac{c \cdot \gamma \cdot T_{пл} \cdot F \cdot v_{опл}}{I_{2оп}^2} \quad (4.10)$$

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

$F$  – площа перерізу деталей, мм<sup>2</sup>;

$I_{2оп}$  – сила зварювального струму, А;

$c_{ТВ}$ , Дж/(мг·°С) – середня питома теплоємність зварюваного матеріалу у твердому стані;

$\gamma$ , мг/мм<sup>3</sup> – щільність матеріалу;

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

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Орлов Б.Д., Чакалев А.А., Дмитриев Ю.В.* и др. Технология и оборудование контактной сварки. – М.: Машиностроение, 1986. –352с.
2. *Гуляев А.И.* Технология точечной и рельефной сварки сталей. – М.: Машиностроение, 1978. –245с.
3. *Гетьман А.С.* Технология и оборудование контактной электросварки. – М.: Машгиз, 1960. –368с.

## ЗМІСТ

1. Розрахунок параметрів режиму контактного точкового зварювання	3
2. Розрахунок параметрів режиму контактного шовного зварювання	13
3. Розрахунок параметрів режиму контактного стикового зварювання опором.....	18
4. Розрахунок параметрів режиму контактного стикового зварювання безперервним оплавленням .....	21