

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

Кафедра інжинірингу
машинобудівних технологій

ЛІТЕРАТУРА



НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичної роботи № 1

на тему:

“ РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ КОНТАКТНОГО ТОЧКОВОГО 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 № 1

на тему:

**“РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ
КОНТАКТНОГО ТОЧКОВОГО 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 і відпрацювання параметрів режиму контактного точкового зварювання	5
3. Розрахунок і вибір основних параметрів режиму контактного точкового зварювання.	6
3.1. Загальний підхід до проведення розрахунків і підбору параметрів режиму.	6
3.2. Аналіз властивостей матеріалу.	7
3.3. Вибір циклограми процесу точкового зварювання.	7
3.4. Вибір конструкції вузла і визначення діаметра ядра.	7
3.5. Вибір форми і марки матеріалу електродів.	10
3.6. Розрахунок зусилля стискання електродів.	12
3.7. Визначення часу імпульсу зварювального струму	13
3.8. Визначення інших часових параметрів процесу зварювання.	14
3.9. Визначення часу паузи і загального часу зварювання.	15
3.10. Розрахунок величини струму при точковому зварюванні.	16
4. Завдання для розрахунку параметрів режиму зварювання	26
Перелік посилань	30

1 Мета і завдання роботи

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

2 Порядок розрахунку і відпрацювання параметрів режиму контактного точкового зварювання

Розрахунок і відпрацювання параметрів режиму точкового зварювання здійснюється двома різними шляхами :

- на основі літературних даних (таблиці, номограми та інше) вибирають параметри режиму зварювання;
- використовуючи формули і деякі табличні дані проводять розрахунок параметрів режиму зварювання.

Отримавши параметри режиму зварювання порівнюють величини одержані різними шляхами уточнюють і вибирають їх кінцеві значення.

Для здійснення підбору і розрахунку параметрів режиму зварювання необхідно мати наступні вихідні дані:

- а) марка зварювального матеріалу, його хімічний склад, механічні і фізичні властивості;
- б) товщина зварюваних деталей;
- в) особливості конструкції ;
- г) вимоги до зварної конструкції або шва.

Дані про марки зварюваного матеріалу, хімічний склад, умови постачання, механічні і фізичні властивості необхідні для вибору діаметру електродів,

зусилля стиску деталей, тип режиму зварювання, необхідності попереднього підігріву і наступної термообробки. Товщина деталей, механічні і фізичні характеристики матеріалу впливають також і на основні параметри режиму зварювання. Складність конструкції і вимоги до неї визначають розміри і тип електродів, вимоги до якості швів, величину перекриття точок, або крок між ними, а також величину напустки.

3 Розрахунок і вибір основних параметрів режиму контактного точкового зварювання.

3.1 Загальний підхід до проведення розрахунків і підбору параметрів режиму.

Розрахунок параметрів процесу точкового зварювання визначається:

- геометричними і фізичними характеристиками з'єднання;
- складністю конструкції виробу;
- вимогами до якості з'єднання (герметичності і надійності).

Порядок проведення розрахунку і вибору основних параметрів режиму точкового зварювання наступний:

- а) проводиться аналіз властивостей матеріалу, його зварюваність, визначаються вимоги до якості зварювання;
- б) вибираємо циклограму процесу точкового зварювання;
- в) вибираємо конструкцію вузла, діаметр електродів та визначаємо можливий діаметр зварної точки;
- г) вибираємо форму електродів, марку матеріалу, з якої їх необхідно виготовити;
- д) розраховуємо необхідне зусилля стиску електродів;
- е) визначаємо величину часу імпульсу та інші параметри у відповідності з вибраною циклограмою процесу;
- є) розраховуємо величину струму зварювання;
- ж) в таблицю зводимо всі дані, які відповідають вибраній циклограмі процесу зварювання і по них підбираємо машину для реалізації процесу

3.2 Аналіз властивостей матеріалу.

Із довідників, виходячи із марки зварюваних матеріалів, вибираємо їх хімічний склад та механічні властивості. Вияснюємо можливі труднощі при виконанні зварювання та вибираємо технологічні операції, які б покращили зварюваність і зменшили ймовірність утворення різного роду дефектів. Визначаємо вимоги до якості з'єднання .

3.3 Вибір циклограми процесу точкового зварювання.

В залежності від марки матеріалу, товщини деталей, вимог до якості з'єднання, вибираємо тип циклограми процесу точкового зварювання. Типи циклограм приведені на Рисунку 1.1.

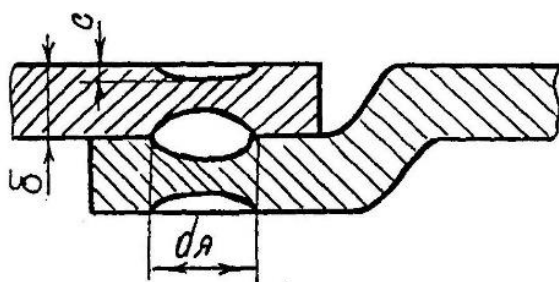
Показані циклограми можуть бути використані в переважній більшості в наступних випадках :

- а) при зварюванні маловуглецевих і низьколегованих сталей, алюмінію і його сплавів, міді і її сплавів, титану, аустенітних і аустенітно-феритних сталей;
- б) при зварюванні маловуглецевих, середньо і високолегованих (аустенітних, аустенітно-феритних) сталей товщиною 3-5 мм;
- в) при зварюванні середньо і високовуглецевих та середньолегованих хромистих сталей;
- г) при зварюванні маловуглецевих та інших сталей товщиною 4-5 мм.

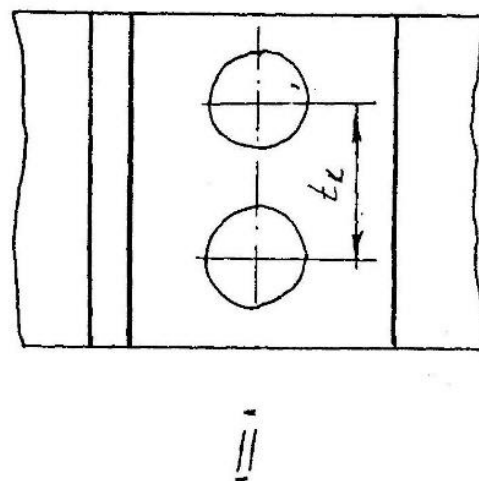
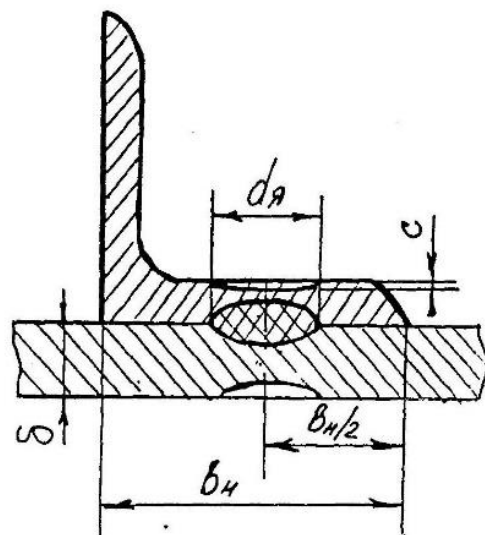
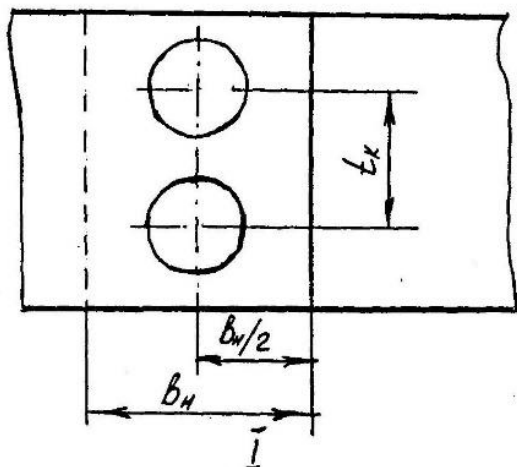
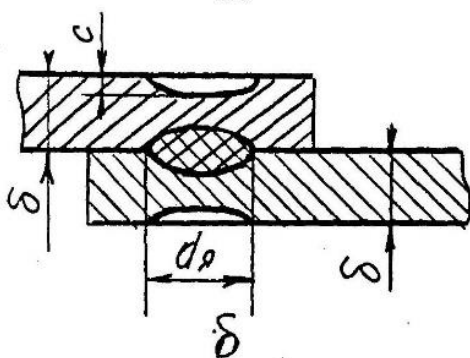
3.4 Вибір конструкції вузла і визначення діаметра ядра.

В більшості випадків використовують двостороннє точкове зварювання. При обмеженому доступі до місця зварювання використовують одностороннє точкове зварювання.

При проектуванні конструкції зварюваних вузлів, необхідно правильно вибирати тип з'єднання (внапуск, з підсічкою чи без підсічки). Типи з'єднань показано на Рисунку 1.1.

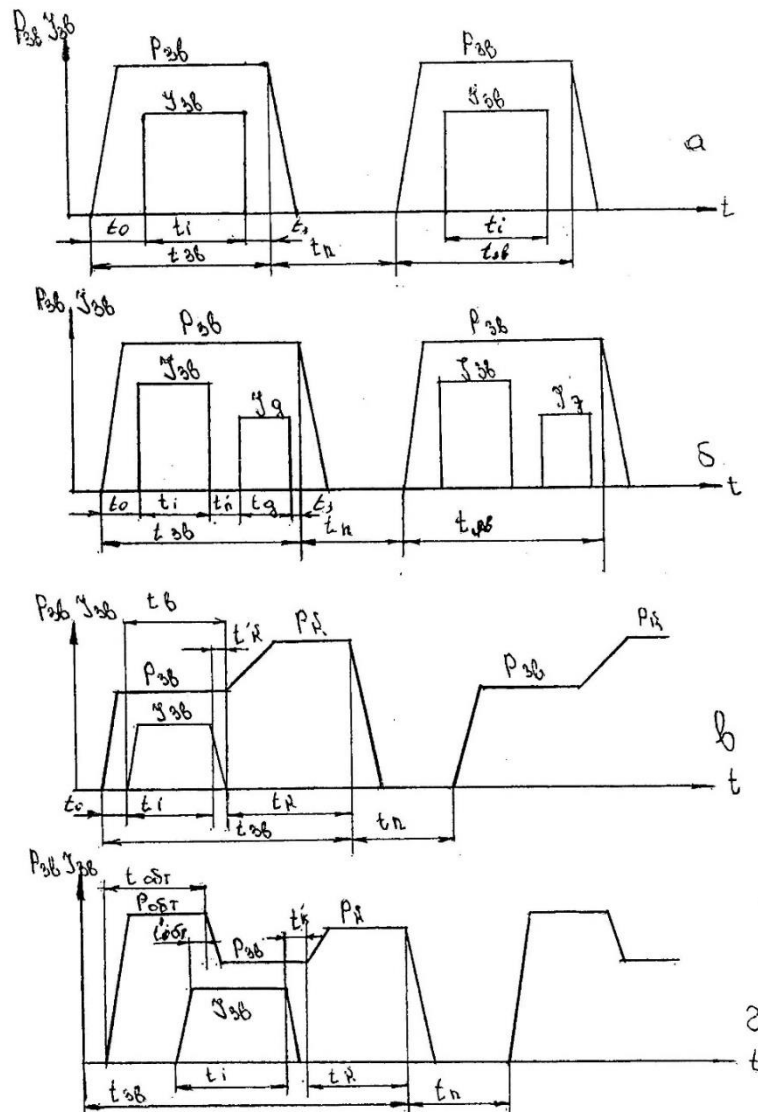


a



I – з'єднання в напуску; а – з підсічкою; б – без підсічки; II – з'єднання кутника; δ - товщина деталі; $d_{я}$ - діаметр ядра; t_k - крок між точками; b_i – величина напуски; c - глибина відбитків.

Рисунок 1.1 – Типи з'єднань при точковому зварюванні.



а) – циклограма з постійним зусиллям стиску і одним імпульсом струму; б) – циклограма з постійним зусиллям зварювання і додатковим імпульсом струму; в) – циклограма з змінним зусиллям стиску (із куванням); г) – циклограма з попереднім обтиском і кувальним зусиллям. P_{36} , P_k , $R_{обт}$ – зусилля стиску, кування і обтиску; I_{36} , I_0 – струм зварювання і струм додаткового підігрівання; t_i , t_n – час імпульсу струму і паузи; t_{36} – час дії зусилля стиску; t_n – час паузи між імпульсом струму зварювання і додатковим імпульсом струму; t_0 – час додаткового імпульсу струму; P_k – зусилля кування; t_k' – час запізнення включення зусилля кування по відношенню до включення струму; $t_{обт}$ – час попереднього обтискання; $t_{обт}'$ – час попередження включення струму по відношенню до виключення зусилля обтискання.

Рисунок 1.2 – Циклограми точкового зварювання

3.5 Вибір форми і марки матеріалу електродів.

Електроди – це інструмент, який здійснює безпосередній контакт машини із зварюваними деталями. Електроди в процесі зварювання виконують три основних завдання ;

- стискають деталі ;
- підводять струм зварювання;
- відводять частково тепло, яке виділяється в процесі зварювання.

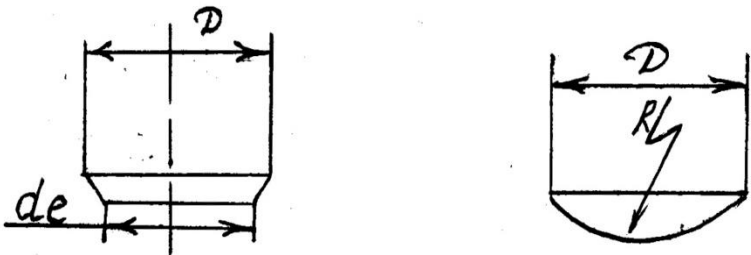
До електродів ставлять наступні основні вимоги:

- забезпечення високої електропровідності;
- збереження форми робочої поверхні в процесі зварювання.

Для забезпечення приведених вище вимог при виготовленні електродів використовують спеціальні мідні сплави, які забезпечують високу жароміцність та електропровідність. Для забезпечення необхідної зварної точки необхідно врахувати форму його робочої поверхні (табл.2.1).

Найбільше поширення для точкового зварювання дістали електроди з площинною і сферичною робочою поверхнею. Розмір робочої поверхні вибирають відповідно товщини зварюваних деталей.

Таблиця 1.1-Розміри електродів.

Товщина тонкої деталі, мм			
	D	d	R
0,3	12	3,0	15-25
0,5	12	4,0	25-50
0,8	12	5,0	50-75

1,0	12	5,0	75-100
1,2	16	6,0	75-100
1,5	16	7,0	100-150
2,0	20	8,0	100-150
2,5	20	9,0	150-200
3,0	25	10,0	150-200
3,5	25	12,0	200-250
4,0	30	13,0	200-250
4,5	30	14,0	250-300
5,0	35	16,0	250-300

Діаметр електродів можна розраховувати в залежності від товщини зварюваних деталей за формулою:

$$d_e = 2\delta \div 3. \quad (1.1)$$

де δ - товщина тоншої деталі, мм.

при цьому необхідно чітко дотримуватися розмірів зварних з'єднань, в першу чергу величину напуски, яка встановлюється в залежності від товщини і матеріалу деталей (табл.2.2)

Таблиця 1.2 - Розміри конструктивних елементів зварних з'єднань.

Товщи на тонкої	Діаметр литого ядра, мм	Мінімальний напуск при одностор. Шві вн, мм	Мінімальний технологічний крок точок, мм

деталі, мм		Легкі сплави	Сталі, титанові сплави	Легкі сплави	Низьколег. середньо низько, середньовугл.ст алі	Високолегов ані сталі і сплави
0,3	2,5+1	8	6	8	7	5
0,5	3,0+1	10	8	11	10	7
0,8	3,5+1	12	10	13	11	9
1,0	4,0+1	14	12	14	12	10
1,2	5,0+1	16	13	15	13	11
1,5	6,0+1	18	14	20	14	12
2,0	7,0+1,5	20	16	25	18	14
2,5	8,0+1,5	22	18	30	20	16
3,0	9,0+1,5	26	20	35	24	18
3,5	10+2	28	22	40	28	22
4,0	11+2	30	26	45	32	24
4,5	12+2	34	30	50	36	26
5,0	13+2	36	34	55	40	30
5,5	14+2	38	38	60	46	34
6,0	15+2	43	44	65	52	40

3.6 Розрахунок зусилля стискання електродів.

Величина зусилля стиску деталей $P_{зв}$ при точковому зварюванні, в момент проходження струму, залежить від механічних властивостей матеріалу деталей, їх товщини і може бути визначена за формулами:

- для мало-, середньовуглецевих і низьколегованих сталей;

$$P_{зв} = 500 + 2 \cdot 10^6 \cdot \delta. \quad (1.2)$$

- для високовуглецевих і середньолегованих сталей;

$$P_{зв} = 1,5(500 + 2 \cdot 10^6 \cdot \delta). \quad (1.3)$$

- для нержавіючих, жароміцних сталей і титану

$$P_{зв} = 2 \cdot (500 + 2 \cdot 10^6 \cdot \delta). \quad (1.4).$$

При неякісному складанні, жорсткій конструкції вузла, а також при використанні матеріалу зі значними значеннями δ_T зусилля стискання приймається на 10% більше.

При зварюванні деталей з використанням циклограми із змінним зусиллям стиску величину зусилля кування визначають за формулою:

$$P_k = (2 \div 3) \cdot P_{зв}. \quad (1.5)$$

При зварюванні деталей з використанням циклограм з попереднім обтиском і наступним зусиллям кування їх значення визначають за формулами:

$$P_k = (2 \div 3) \cdot P_{зв}. \quad (1.6)$$

$$P_{об} = (1,5 \div 2,3) \cdot P_{зв}. \quad (1.7)$$

3.7 Визначення часу імпульсу зварювального струму

Одним із основних параметрів процесу точкового зварювання є час проходження зварювального струму, тобто час імпульсу t_i . Час проходження струму в основному залежить від марки зварюваного матеріалу деталей. Цей параметр визначають виходячи із формул чи з таблиць. При цьому слід відмітити, що в ряді випадків, ці дані зовсім не співпадають. Вибрана чи розрахована величина часу імпульсу перевіряється дослідним шляхом і при необхідності корегується.

Час імпульсу зварювального струму визначають за наступними формулами (t_i - в сек., δ - в метрах):

-для мало-, середньовуглецевих і низьколегованих сталей;

$$t_i = 0.04(1 + \delta^2 \cdot 10^{-6}) \quad (1.8)$$

-для високовуглецевих і середньолегованих сталей;

$$t_i = 0.06(1 + \delta^2 \cdot 10^{-6}) \quad (1.9)$$

-для нержавіючих, жароміцних сталей;

$$t_i = 0.03(1 + \delta^2 \cdot 10^{-6}) \quad (1.10)$$

-для алюмінію і його сплавів;

$$t_i = 0.02(1 + \delta^2 \cdot 10^{-6}) \quad (1.11)$$

-для міді і її сплавів;

$$t_i = 0.025(1 + \delta^2 \cdot 10^{-6}) \quad (1.12)$$

-для титану і його сплавів;

$$t_i = 0.03(1 + \delta^2 \cdot 10^{-6}) \quad (1.13)$$

3.8 Визначення інших часових параметрів процесу зварювання.

Всі інші необхідні часові параметри визначаються виходячи із величини t_i та в залежності від типу циклограм.

- зварювання з постійним зусиллям стискання:

$$t_0 = (2 \div 3)t_i.; \quad (1.14)$$

$$t_3 = (0,3 \div 0,5)t_i.. \quad (1.15)$$

- зварювання з додатковим імпульсом струму:

$$t_p = (1,5 \div 1,8)t_i.; \quad (1.16)$$

$$t_n' = (1,1 \div 1,4)t_i.; \quad (1.17)$$

$$t_0 = (0,6 \div 1,2)t_i.; \quad (1.18)$$

$$t_3 = (0,3 \div 0,5)t_i.. \quad (1.19)$$

- зварювання зі змінним зусиллям стиску:

$$t_k = (1,1 \div 1,2)t_i.; \quad (1.20)$$

$$t_k = (0.02 \div 0.18)e. \quad (1.21)$$

$$t_k' = (0.01 \div 0.2)t_k.; \quad (1.22)$$

$$t_{\sigma} = t_i + t_k.; \quad (1.23)$$

$$t_0 = (2 \div 3) t_i.. \quad (1.24)$$

- зварювання з попереднім обтиском і зусиллям кування:

$$t_{обм} = (1,2 \div 2,5) t_i.; \quad (1.25)$$

$$t_{обм}' = (0.1 \div 0.2) t_{обм}.; \quad (1.26)$$

$$t_k = (1,1 \div 1,2) t_i.; \quad (1.27)$$

$$t_k' = (0.1 \div 0.2) t_k.. \quad (1.28)$$

де t_i - час імпульсу; t_{ρ} - час додаткового імпульсу; t_n' - час паузи, між імпульсом струму зварювання і додатковим; t_0 - час попередження включення зусилля стиску; t_{σ} - час запізнення виключення зусилля стиску в кінці зварювання; t_k - час дії зусилля ковки; t_k' - час запізнення включення зусилля кування по відношенню до виключення струму; t_{σ} - час включення зусилля кування по відношенню до часу імпульсу струму; $t_{обм}$ - час обтиску; $t_{обм}'$ - час попередження включення струму по відношенню до виключення зусилля обтиску.

3.9 Визначення часу паузи і загального часу зварювання.

При точковому зварюванні час паузи вибирається довільно, при цьому слід враховувати наступні моменти:

- фізичні можливості пересування деталей або вузла вручну;
- можливість пересування деталей за допомогою автоматичних чи напівавтоматичних механізмів не зв'язаних безпосередньо з самою точковою машиною.

Враховуючи вищесказане вибираємо величину паузи t_n а загальний час зварювання однієї точки визначається за формулою:

$$t_{\Sigma}^{\Sigma} = t_{\Sigma} + t_n. \quad (1.29)$$

В залежності від виду циклограм загальний час зварювання визначається із наступних залежностей.

- зварювання з постійним зусиллям стиску і одним імпульсом:

$$t_{36}^{\Sigma} = t_{36} + t_n = [t_i + (t_0 + t_3)] + t_n. \quad (1.30)$$

- зварювання з постійним зусиллям стиску і додатковим імпульсом:

$$t_{36}^{\Sigma} = t_{36} + t_n = [t_i + t_n' + t_g + (t_0 + t_3)] + t_n. \quad (1.31)$$

- зварювання з змінним зусиллям стиску:

$$t_{36}^{\Sigma} = t_{36} + t_n = [t_i + t_k' + t_k + t_0] + t_n. \quad (1.32)$$

- зварювання з попереднім обтиском і ковочним зусиллям:

$$t_{36}^{\Sigma} = t_{36} + t_n = \left[(t_{обт} - t_{обт}') + t_i + t_k' + t_k \right] + t_n. \quad (1.33)$$

3.10 Розрахунок величини струму при точковому зварюванні.

При точковому зварюванні тепло виділяється зварювальним струмом, що проходить через деталі між електродами (рис.2.3).

Це тепло визначається за формулою:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (1.34)$$

Де: Q - загальна кількість тепла, що виділяється між електродами під час зварювання ;

Q_1 - тепло, що затрачається на нагрів до $T_{пл}$ циліндра металу висотою $\delta_1 + \delta_2$ діаметром $d_{я}$;

Q_2 - тепло, що затрачається на нагрів металу у вигляді кільця шириною X_2 , яке оточує лите ядро;

Q_3 - тепло, що затрачається на нагрів електродів (нагрів умовно циліндра висотою X_3 до середньої температури T_e);

Q_4 - тепло, що затрачається на випромінювання з поверхні деталей в навколишнє середовище.

Слід відмітити, що всі нижче приведені розрахунки величини зварювального струму зв'язані зі зварюванням деталей з різної товщини та з різних матеріалів. Товщина першої деталі δ_1 , з відповідними фізичними властивостями

$(c_1, \gamma_1, T_{nl1}, a_1)$, а товщина другої деталі δ_2 з відповідними фізичними властивостями $(c_2, \gamma_2, T_{nl2}, a_2)$.

Тепло, що витрачається на нагрів об'єму металу умовного циліндра діаметром $d_{\text{я}}$, висотою $(\delta_1 + \delta_2)$ визначається за формулою:

$$Q_1 = k \frac{\pi d_{\text{я}}^2}{4} (\delta_1 c_1 \gamma_1 T_{nl1} + \delta_2 c_2 \gamma_2 T_{nl2}), \quad (1.35)$$

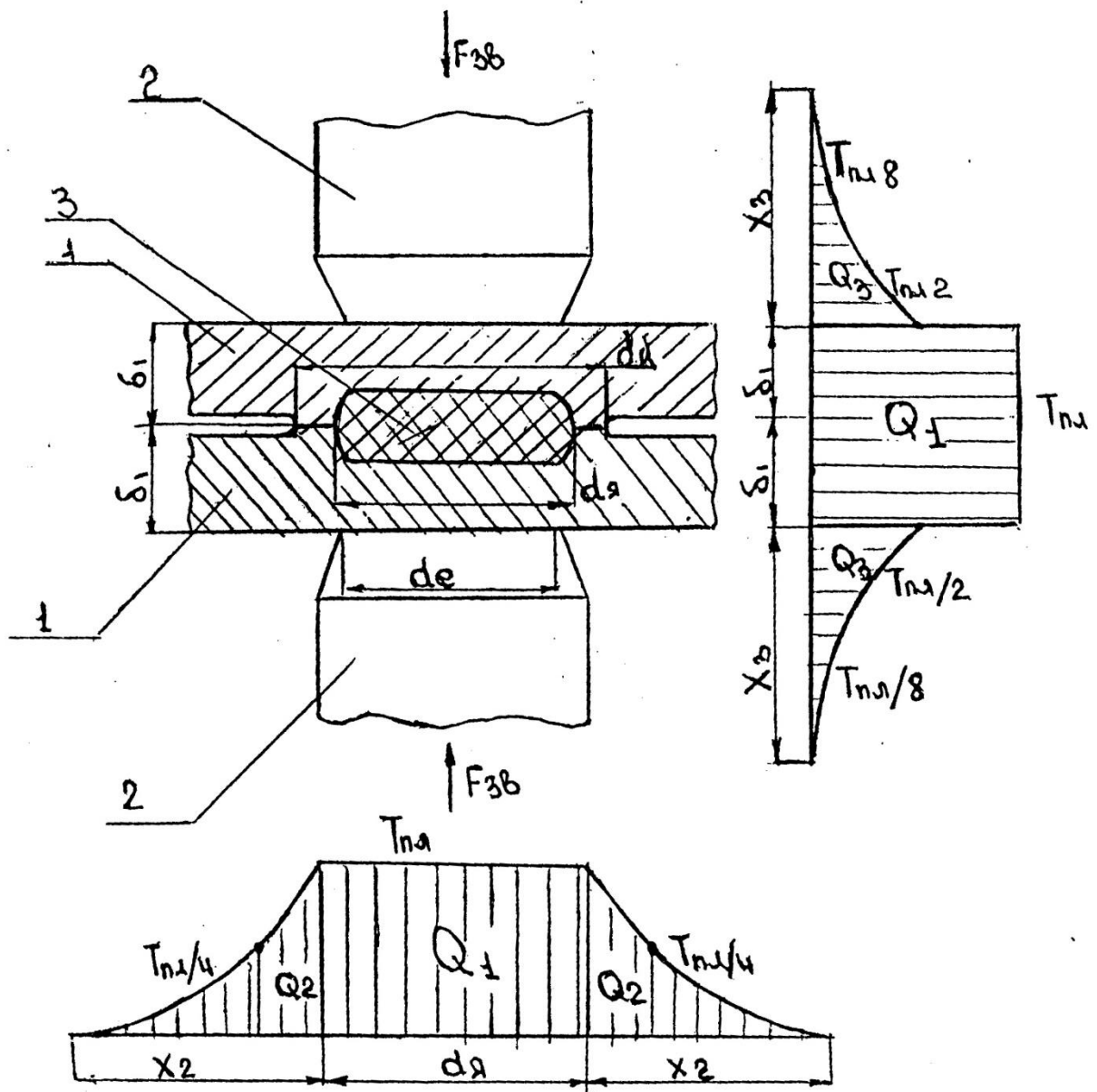
де κ_1 – температурний коефіцієнт, $\kappa_1 = 0.8$.

$d_{\text{я}}$ – діаметр ядра, мм;

$\delta, c, \gamma, T_{nl}$ – товщина, теплоємність $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}^\circ} \right)$, густина металу $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$,

температура його плавлення K° .

Тепло, що затрачається на нагрів металу зони термічного впливу у вигляді кільця шириною X_2 до середньої температури $\frac{T_{nl}}{4}$, визначається:



1 – деталі; 2 – електроди; 3 – ядро.

Рисунок 1.3 – Схема розподілу тепла при точковому зварюванні

$$Q_2 = \kappa_1 \pi X_2 (d_2 + X_2) \left(\delta_1 c_1 \gamma_1 \frac{T_{нл1}}{4} + \delta_2 c_2 \gamma_2 \frac{T_{нл2}}{4} \right), \quad (1.36)$$

де Q_1, Q_2 - температуропровідність металу першої і другої деталі;

t_i - час імпульсу зварювального струму, (с);

X_2 - ширина кільця, яке оточує розплавлене ядро (м).

Ширина кільця X_2 визначається по формулі:

$$X_2 = 4\sqrt{at_i} \quad (1.37)$$

Для різнорідних металів

$$X_2 = 4\sqrt{a_{cp}t_i}; a_{cp} = \frac{a_1 + a_2}{2}. \quad (1.38)$$

На практиці X_2 можна розрахувати виходячи із наступних формул:

- для вуглецевих, низько і середньо легованих сталей

$$X_2 = 1,2\sqrt{t_i} \cdot 10^{-2}; \quad (1.39)$$

- високолегованих сталей

$$X_2 = 1,1\sqrt{t_i} \cdot 10^{-2}; \quad (1.40)$$

- алюмінієвих сплавів

$$X_2 = 3,1\sqrt{t_i} \cdot 10^{-2}; \quad (1.41)$$

- мідних сплавів

$$X_2 = 3,3\sqrt{t_i} \cdot 10^{-2}; \quad (1.42)$$

- титанових сплавів

$$X_2 = 1,1\sqrt{t_i} \cdot 10^{-2}. \quad (1.43)$$

Тепло, що затрачається на нагрів електродів на висоту X_3 до температури $\frac{T_{nl}}{8}$, розраховується за формулою:

$$Q_3 = k_2 \frac{\pi(d_1^e)^2}{4} X_{31} c_1^e \gamma_1^e \frac{T_{nl1}}{8} + k_2 \frac{\pi(d_2^e)^2}{4} X_{32} c_2^e \gamma_2^e \frac{T_{nl2}}{8}, \quad (1.44)$$

де d_1^e, d_2^e – діаметр електродів, (м);

$c_1^e \gamma_1^e$ – теплоємність $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}^\circ}\right)$, густина $\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$, матеріалу першого електроду;

$c_2^e \gamma_2^e$ – теплоємність $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}^\circ}\right)$, густина $\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$, матеріалу другого електроду;

k_2 – коефіцієнт, який враховує форму електродів і визначається:

$k_2 = 1$ – циліндрична форма;

$k_2 = 1,5$ – конічна форма;

$k_2 = 2$ – сферична форма.

Висота нагрівання електродів X_3 визначається за формулою:

$$X_3 = 4\sqrt{a^e t_i} \quad (1.45)$$

При використанні мідних електродів X_3 визначається:

$$X_3^e = 3.3\sqrt{t_i} \cdot 10^{-2} \text{ (м)}. \quad (1.46)$$

У випадку використання електродів з різних матеріалів визначаємо висоту їх нагріву для кожного окремо по формулі:

$$X_{31}^e = 4\sqrt{a_1^e t_i}; \quad (1.47)$$

$$X_{32}^e = 4\sqrt{a_2^e t_i}. \quad (1.48)$$

де a_1^e, a_2^e – коефіцієнт температуропровідності матеріалу першого і другого електроду відповідно;

t_i – час проходження зварювального струму, (с).

Підставляємо в рівняння теплового балансу допускаючи, що, отримуємо формулу, яка має вигляд:

$$Q = \left[\frac{1}{4} \pi d_{\text{я}}^2 (\delta_1 c_1 \gamma_1 T_{\text{н1}} + \delta_2 c_2 \gamma_2 T_{\text{н2}}) \right] + \left[k_1 \pi X_2 (d_{\text{я}} + X_2) \times \left(\delta_1 c_1 \gamma_1 \frac{T_{\text{н1}}}{4} + \delta_2 c_2 \gamma_2 \frac{T_{\text{н2}}}{4} \right) \right] + \left[k_2 \frac{\pi (d_1^e)^2}{4} X_{31} c_1^e \gamma_1^e \frac{T_{\text{н1}}}{8} + k_2 \frac{\pi (d_2^e)^2}{4} X_{32} c_2^e \gamma_2^e \frac{T_{\text{н2}}}{8} \right]. \quad (1.49)$$

З другої сторони загальна кількість тепла, що виділяється в зоні зварювання визначається за формулою:

$$Q_1 = I_{\text{зв}} k_3 R_{\text{кін}} t_i. \quad (1.50)$$

Підставляючи у формулу значення можна визначити:

- при заданому (чи вибраному) t_i величину струму

$$I_{\text{зв}} = \sqrt{\frac{Q}{k_3 R_{\text{кін}} t_i}}; \quad (1.51)$$

- при заданому чи вибраному $I_{\text{зв}}$ час зварювання;

$$t_i = \frac{Q}{I_{\text{зв}}^2 k_3 R_{\text{кін}}}; \quad (1.52)$$

де $I_{\text{зв}}$ – величина струму зварювання, А;

$R_{\text{кін}}$ – опір деталей при кінці нагріву деталей, Ом;

k_3 – коефіцієнт, який враховує зміну опору під час зварювання становить:

$k_3 = (1.0 \div 1.1)$ – для маловуглецевих і низьколегованих сталей;

$k_3 = (1.2 \div 1.4)$ – для алюмінієвих, мідних і магнієвих сплавів;

$k_3 = (1.1 \div 1.2)$ – для високолегованих сталей і титану.

Електричний опір при точковому зварюванні складається із контактних опорів і власних опорів зварюваних деталей. Сумарний опір деталей в кінці нагріву визначається за формулою;

$$R_{кин} = \frac{k_n A_0' \delta_{cp}}{\pi \frac{d_{кин}^2}{4}} \frac{1}{2} (\rho_1 + \rho_2); R_{кин} = A_0^1 k_n \frac{\rho_t}{\delta}, \quad (1.53)$$

де $d_{кин}$ – діаметр контакту в кінці нагріву, (умовно $d_{кин} = d_{cp}^e$), мм;

k_n – коефіцієнт, що враховує пониження опору деталей внаслідок часткового протікання, частини струму через відносно холодні ділянки металу поруч зварюваної точки $k_n = 0.8 + 0.69$;

A_0^1, A_0 – коефіцієнти, що залежать від співвідношення d до δ (рис.2.5, 2.6);

ρ_t – питомий опір при $T=(1200-1300)^\circ\text{C}$;

ρ_1, ρ_2 – питомий опір при температурі T_1 і $T_2, \hat{n} \cdot \hat{i}$;

$$\rho_1 = \rho_1^0 (1 + \alpha_\rho T_1); \quad (1.54)$$

$$\rho_2 = \rho_2^0 (1 + \alpha_\rho T_2); \quad (1.55)$$

$$\rho_t = \rho_t^0 (1 + \alpha_\rho T_t); \quad (1.56)$$

ρ_1^0, ρ_2^0 – питомий опір при температурі 20°C , Ом·мм;

α_ρ – температурний коефіцієнт зміни опору, $1/^\circ\text{C}$;

T_1, T_2 – температура в кінці нагріву деталей, $^\circ\text{C}$.

В залежності від вибраного типу циклограми визначаємо величину додаткових імпульсів.

$$I_\delta = (0,7 - 0,8) I_{зв}; \quad (1.57)$$

Загальна величина зварювального струму в вторинному контурі машини, яка проходить в момент зварювання визначається за формулою:

$$I_\Gamma = I_{зв} + I_{из}; \quad (1.58)$$

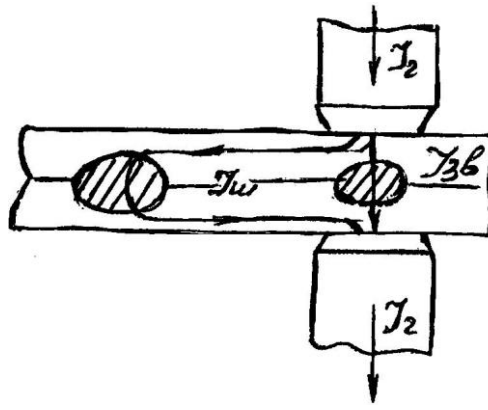
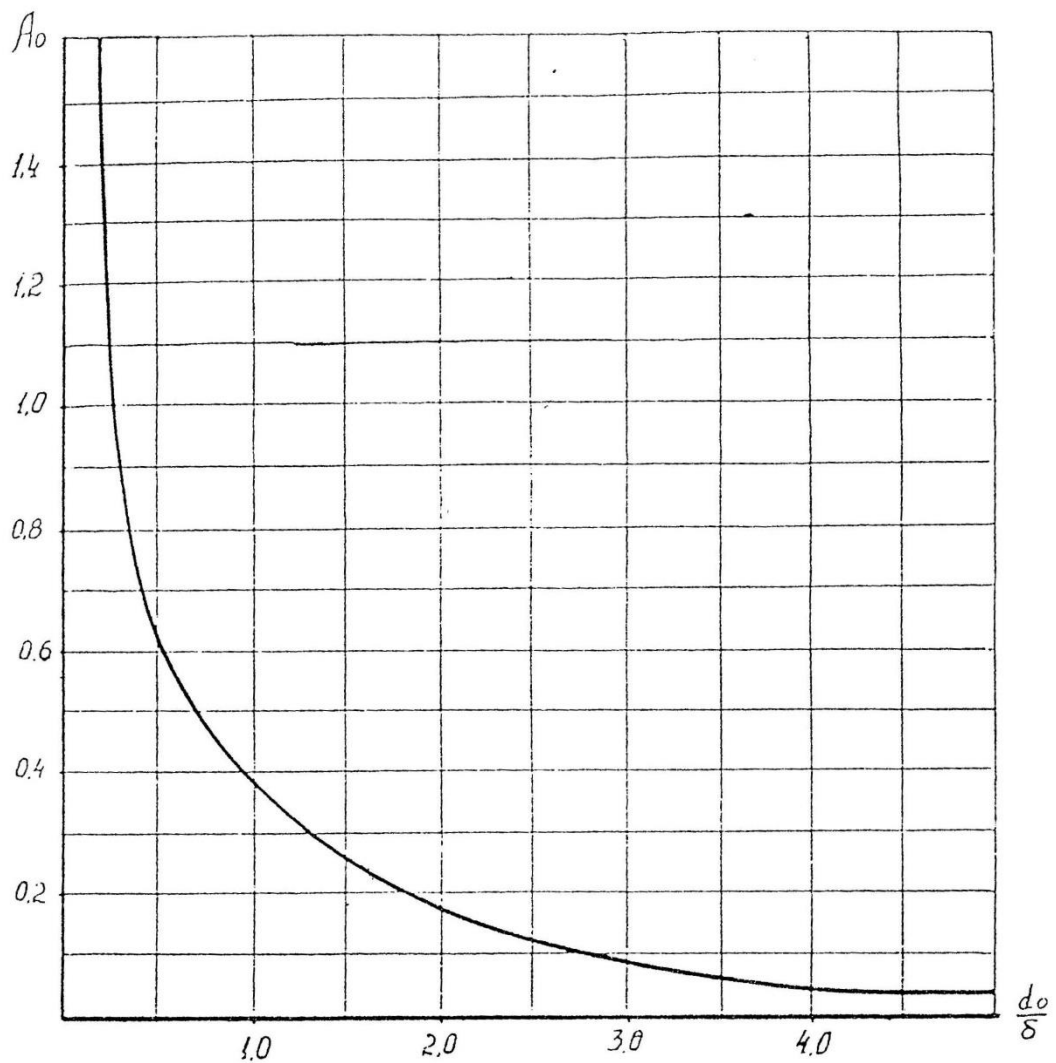


Рисунок 1.4 - Схема розподілу вторинного струму

$$I_{ш} = I_{36} \frac{R_{кін}}{R_{ш}}. \quad (1.59)$$



$$d_0 = \sqrt{\frac{4P}{\pi \partial_c}}. \quad (1.60)$$

де P - Зусилля стиску деталей, кг; ∂_c - опір металу зминанню, $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$.

Рисунок 1.5 - Зміна коефіцієнта A_0 в залежності від співвідношення

діаметра точки d_0 до товщини деталі.

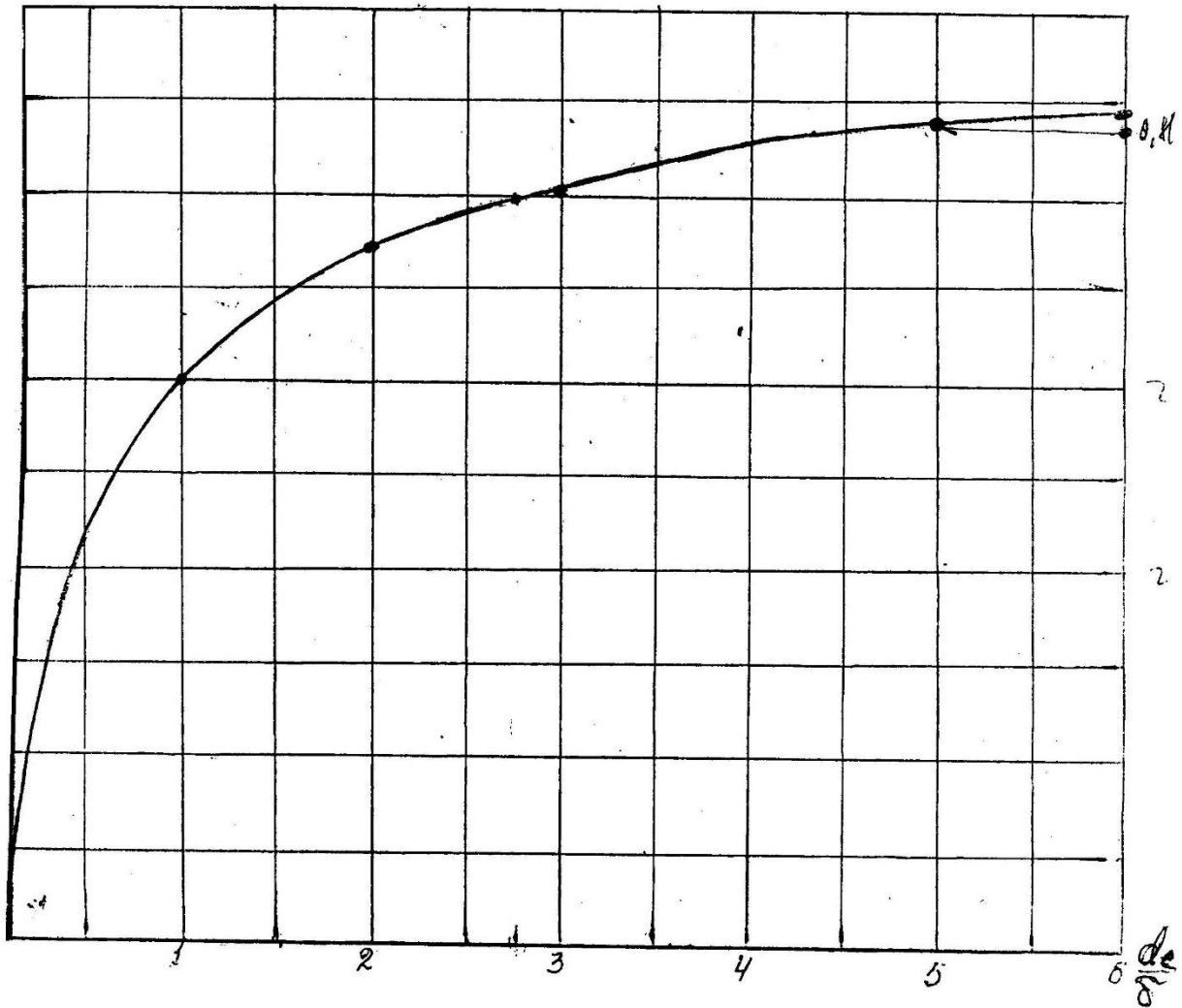


Рисунок 1.6 – Зміна коефіцієнта A'_0 , в залежності від співвідношення діаметра точки d_k , до товщини деталі δ

Опір шунтування визначають за формулою:

$$R_{ш} = k_n \rho_{cp}^T \frac{2l}{h\delta}; \quad (1.61)$$

де k_n – коефіцієнт поверхневого ефекту (табл. 2.3).

ρ_{cp}^T – питомий електричний опір матеріалу пластин при температурному рівні $(0,2-0,4)T_{nl}$, менше значення вибирають для матеріалу з більшою теплопровідністю $Ом \cdot м$;

l - крок точок, м;

h - ширина смуги, по якій шунтується струм, м, (розмір знаходять із залежності $\frac{h}{l} = f\left(\frac{l}{a_k}\right)$ (Рис. 1.8).

Умовно можна прийняти:

- для вуглицевих, низько-середньолегованих сталей –

$$\rho_{cp}^T = 80 \cdot 10^{-8}, \text{ Ом} \cdot \text{м}; \quad (1.62)$$

- для високолегованих сталей –

$$\rho_{cp}^T = 110 \cdot 10^{-8}, \text{ Ом} \cdot \text{м}; \quad (1.63)$$

- для титанових сплавів

$$\rho_{cp}^T = 120 \cdot 10^{-8}, \text{ Ом} \cdot \text{м}; \quad (1.64)$$

- для алюмінію і його сплавів, міді і сплавів –

$$\rho_{cp}^T = 9,5 \cdot 10^{-8}, \text{ Ом} \cdot \text{м}; \quad (1.65)$$

Таблиця 1.3 - Залежність коефіцієнта поверхневого ефекту від товщини.

$\delta, \text{м} \cdot 10^3$	1	1,5	2	3	4	5	6	7	8	9	
k_n	1	1,2	1,3	1,5	1,9	2,6	3	3,2	3,4	3,8	1

Для розрахунку опору зварювального контуру розраховуємо еквівалентний опір при точковому зварюванні виходячи із схеми, що показана на Рисунку 1.7.

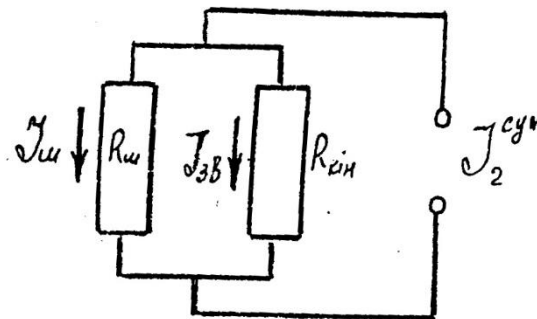


Рисунок 1.7 - Схема розрахунку еквівалентного опору.

$I_{ш}$ – струм шунтування; $I_{зв}$ – струм зварювання; $I_2^{сум}$ – сумарна величина

струму у вторинному контурі під час зварювання; $R_{ш}$ – опір шунта; $R_{кін}$ – опір між електродами в кінці нагріву деталей.

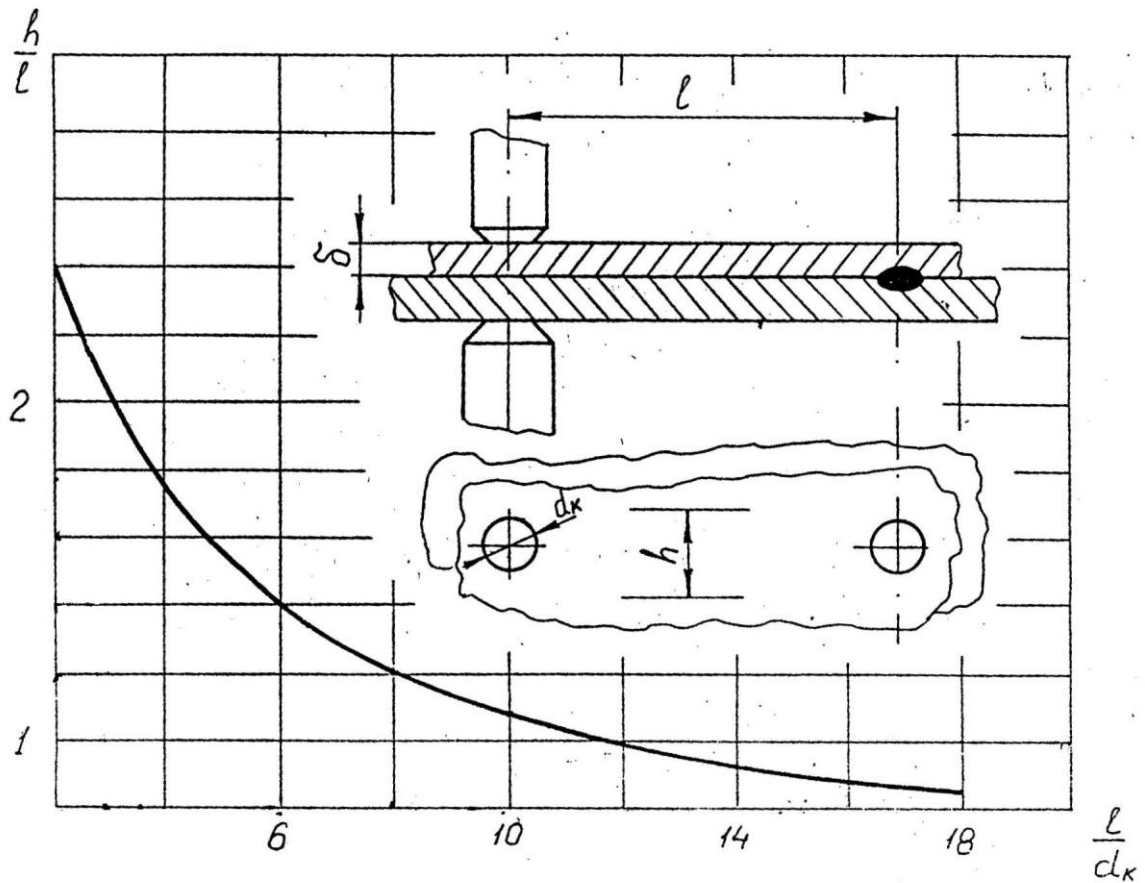


Рисунок 1.8 – Залежність еквівалентної ширини (h) вітки шунтування при точковому зварюванні від кроку (l) і діаметра контакту d_k (в розрахунках прийняти $d_я = d_k$.)

Виходячи із цього визначаємо еквівалентний опір :

$$R_{екв} = \frac{R_{ш} \cdot R_{кін}}{R_{ш} + R_{кін}}; \quad (1.66)$$

$$\frac{1}{R_{екв}} = \frac{1}{R_{кін}} + \frac{1}{R_{ш}}. \quad (1.67)$$

4 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 точкового зварювання.

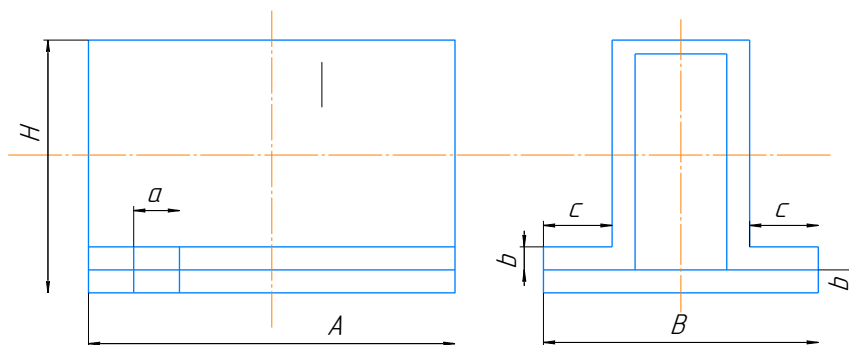


Рисунок 2.1 Ескіз виробу №1

Таблиця 2.1 Перелік завдань для виробу №1.

№ завдання	Розміри виробу, мм						Матеріал
	A	B	H	C	b	a	
1.	1000	400	200	100	1	50	Ст. 3
2.	1200	300	100	60	1,5	40	Амг-6
3.	800	600	300	80	1,8	50	X18H10T
4.	800	500	400	50	2	30	Алюміній А5
5.	600	300	300	40	1,2	40	30ХГСА
6.	2000	500	500	70	2,5	60	Ст.3
7.	1000	400	300	60	1	40	Дюралюміній
8.	900	300	300	50	0,6	30	Латунь Л62

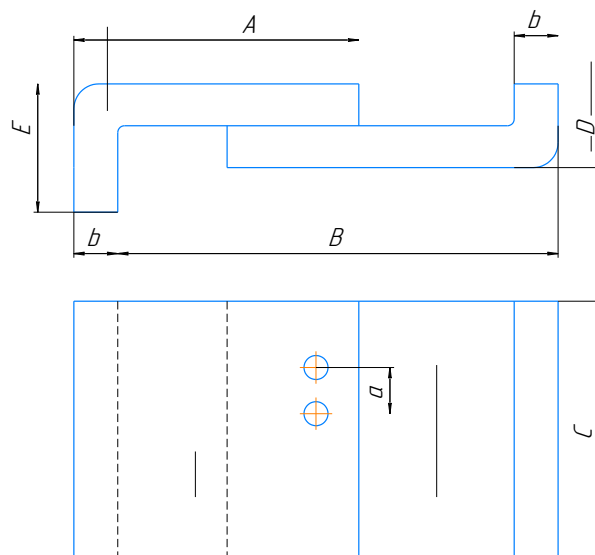


Рисунок 2.2 Ескіз виробу №2

Таблиця 2.2 Перелік завдань для виробу №2.

№ завдання	Розміри виробу, мм							Матеріал
	A	B	C	D	E	b	a	
1.	150	200	500	100	120	0.8	30	Амг-6
2.	300	300	600	200	200	2	40	Ст.3
3.	250	400	400	80	300	1,6	20	X18H10T
4.	500	250	500	300	400	1,2	50	Алюміній А5
5.	600	300	700	250	200	2,5	60	Дюралюміній
6.	750	500	550	200	180	0,85	30	Латунь Л62
7.	400	600	300	300	150	1	40	30ХГСА
8.	800	400	500	150	1020	1,8	30	Латунь Л62
9.	200	750	400	200	400	1,5	30	Ст.3
10.	400	400	600	100	15	2	40	Амг-6

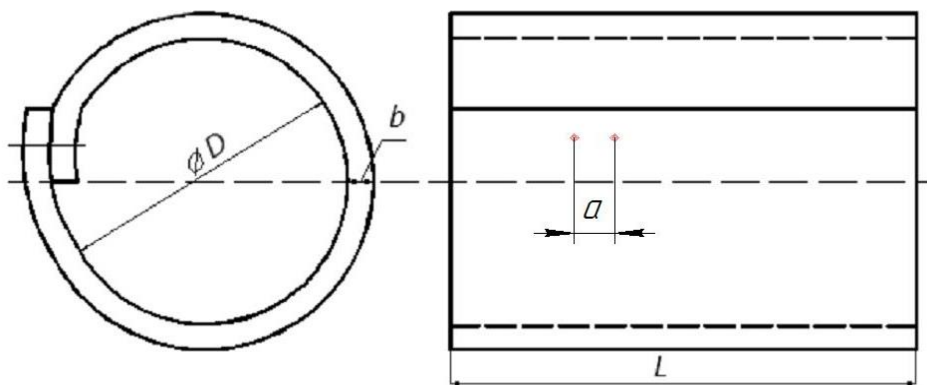


Рисунок 2.3 Ескіз виробу №3

Таблиця 2.3 Перелік завдань для виробу №3.

№ завдання	Розміри виробу, мм				Матеріал
	L	D	b	a	
1.	1000	500	1	50	Ст.3
2.	800	400	2	40	Амг-6
3.	700	400	0,8	30	X18H10T
4.	600	350	0,6	35	Латунь Л62
5.	750	300	1,2	40	Сталь 45
6.	300	200	1,2	30	Алюміній А5
7.	400	180	0,6	20	Дюралюміній
8.	1200	400	2,5	60	Ст.3
9.	900	300	1,6	40	30ХГСА
10.	500	200	1	50	Амг-6

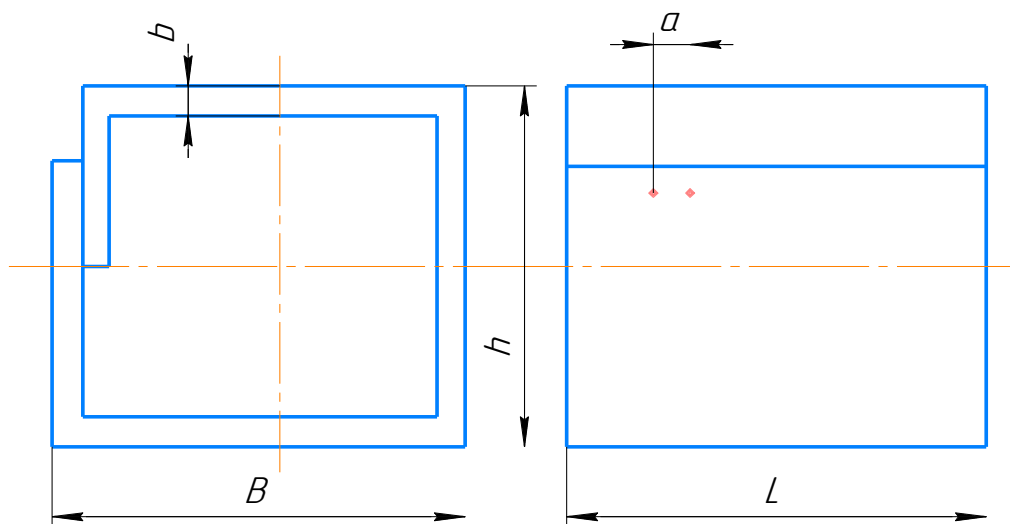


Рисунок 2.4 Ескіз виробу №4

Таблиця 2.4 Перелік завдань для виробу №4.

№ завдання	Розміри виробу, мм					Матеріал
	L	B	h	b	a	
1.	300	250	150	0.5	50	Алюміній А5
2.	400	300	200	0.8	40	Амг-6
3.	500	350	250	1	60	Латунь Л62
4.	600	300	300	1.2	45	Х18Н10Т
5.	700	400	250	1	55	Дюралюміній
6.	800	450	300	1.5	40	Ст.3
7.	900	400	350	1.8	50	Сталь 45
8.	1000	500	400	2	55	Ст.3

Перелік посилань

1. Орлов Б.Д., Чакаев А.А., Дмитриев Ю.В. и др. "Технология и оборудование контактной сварки." - М.: Машиностроение, 1986, 352с.
2. Орлов Б.Д., Чакаев А.А., Дмитриев Ю.В. "Технология и оборудование контактной сварки." - М.: Машиностроение, 1975, 536с.
4. Гельман А.С. "Теоретические основы контактной сварки." - М.: Машиностроение, 1962, 90с.
5. Чулошников П.Л. Точечная и роликовая электросварка легированных сталей и сплавов. - М.: Машиностроение, 1968, 199с.
6. Кучук – Яценко С.И. Контактная стыковая сварка оплавлением . – Київ.: Наукова думка , 1992, 236 с.