



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ МАШИН, СПОРУД І
ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГІЇ І ОБЛАДНАННЯ
ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

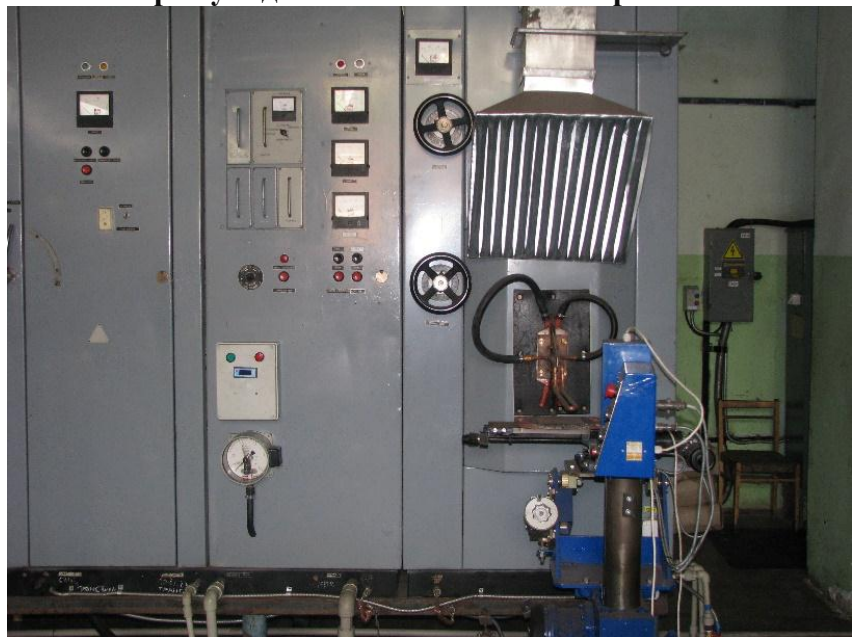
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних робіт

з дисципліни:

«НАПЛАВЛЕННЯ ТА НАПИЛЕННЯ» РОЗДІЛ «НАПЛАВЛЕННЯ»

для студентів денної та заочної форми навчання для
підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня
«Бакалавр»
напряму підготовки 6.050504 «Зварювання»



ТЕРНОПІЛЬ
2016

УДК 621.79

ББК 30.61

М54

Укладачі:

докт. техн. наук, професор Пулька Ч.В.
асистент Сенчишин В.С.

Рецензент:

докт. техн. наук, професор Барановський В.М.

Розглянуто й затверджено на засіданні кафедри технології і обладнання зварювального виробництва. Протокол №5 від 24.11.2016р.

Затверджено та рекомендовано до друку на засіданні методичної комісії ФМТ ТНТУ імені Івана Пулюя. Протокол №4 від 28.11.2016 р.

М54

Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Наплавлення та напилення». Розділ «Наплавлення» / Ч.В. Пулька, В.С. Сенчишин. – Тернопіль.: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. –66 с.

Методичні вказівки розроблено відповідно до навчального плану та робочої програми з дисципліни «Наплавлення та напилення» для підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» напряму підготовки 6.050504 «Зварювання».

УДК 621.791

ББК 30.61

© Ч.В. Пулька, В.С. Сенчишин., 2016

© ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Практична робота №1 «Практичне вимірювання твердості наплавленого шару металу» .	6
Практична робота №2 «Розрахунки вуглецевого еквіваленту і температур попереднього підігріву»	12
Практична робота №3 «Розрахунок шихти порошкового дроту»	18
Практична робота №4 «Дослідження товщини шару наплавленого металу при індукційному наплавленні тонких плоских деталей»	31
Практична робота №5 «Розрахунок параметрів режиму дугового механізованого наплавлення»	55
Практична робота №6 «Вплив параметрів процесу дугового механізованого наплавлення на температурні поля біляшовної зони»	63

ВСТУП

Дисципліна «Наплавлення та напилення» – 1. розділ «Наплавлення»- надає студентам знання щодо базових способів наплавлення, закономірностей формування структурного та фазового складу наплавлених шарів, особливостей технологій наплавлення шарів різного функціонального призначення та складу, установок для наплавлення, а також навичок практичного використання одержаних знань. Дисципліна спрямована на вивчення типових і сучасних технологій нанесення поверхневого шару металів, є однією із основних дисциплін у циклі підготовки бакалаврів за спеціальністю 6.050504 «Зварювання».

В даному посібнику представлені практичні роботи, які присвячені тематиці дисципліни з розділу «Наплавлення».

В практичній роботі №1 досліджується вплив хімічного складу електродного металу на твердість наплавленого шару.

У роботі №2 вивчається вплив хімічного складу сталі на температуру її попереднього підігріву при наплавленні.

Робота №3 присвячена розрахунку шихти порошкового дроту.

В роботі №4 досліджується товщина шару наплавленого металу в залежності від конструкції нагрівальних систем і способів індукційного наплавлення.

Робота №5 присвячена розрахунку параметрів режиму дугового механізованого наплавлення.

В роботі №6 досліджується вплив параметрів процесу дугового механізованого наплавлення на температурні поля біляшовної зони.

Практичні роботи носять дослідницький характер, в кожній з них стисло викладені основні теоретичні положення, методика виконання робіт завдання для самостійного виконання.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

ПРАКТИЧНЕ ВИМІРЮВАННЯ ТВЕРДОСТІ НАПЛАВЛЕНОГО ШАРУ МЕТАЛУ

МЕТА РОБОТИ: експериментальне дослідження впливу змін складу наплавлених шарів на їх твердість.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Вимірювання твердості – важливий момент в дослідженні властивостей наплавленого матеріалу. Твердість чорних і кольорових металів і сплавів можна виміряти згідно ГОСТ 18835-73. Метод полягає на вимірі пластичної твердості металів при вдавлюванні в них сферичного індентора.

Кульки та сферичні наконечники, що застосовують для вимірювання пластичної твердості, при діаметрі 2 мм і більше, повинні мати поверхню не нижче 12-го класу чистоти і не мати пороків, які видно з допомогою лупи при 5-ти кратному збільшенні. Наконечники діаметром менше 2 мм повинні бути якісно відполіровані, не мати пороків, що видні при 30-ти кратному збільшенні.

Вибір діаметра кульки чи радіуса кривизни сферичного наконечника, а також навантажень P_1 та P проводять у відповідності з вимогами таблиці. При вимірюванні пластичної твердості допускається застосовувати навантаження P_1 та P будь-якої величини, що відповідають вимогам:

- 1) $P \geq 2.5D^2$ та $P \geq 5D^2$;
- 2) Плавне збільшення навантажень до необхідних значень;

- 3) Підтримка постійності навантажень, що прикладаються P_1 та P на протязі 15с;
- 4) Прикладання навантажень по нормалі до поверхні об'єкту, що випробовується.

Таблиця 1

Інтервал твердості НВ	Подвоєний радіус кривизни сферичного наконечника або діаметр кульки мм,	P_1	P
		кгс	
Від 80 до 150	1.5	$(2.5-5)D^2$	$(5-20)D^2$
Понад 150...450	1.5	$(5-15)D^2$	$(10-30)D^2$
450...800	0.4	$(5-30)D^2$	$(10-100)D^2$

Поверхня зразка, що випробовується обробляється у вигляді площини так, щоб краї відбитку були достатньо чіткі для вимірювання його діаметра з точністю, що вимагається.

Поверхня зразка, що випробовується повинна бути вільна від окалини і інших сторонніх речовин.

При підготовці поверхні зразка, що випробовується необхідно прийняти міри, що попереджають можливі зміни твердості зразка, що випробовується в наслідок нагріву або наклепу поверхні при механічній обробці.

Мінімальна товщина зразка, що випробовується повинна бути не менше 10-кратної глибини відбитку.

При застосуванні спеціальних підставок необхідно застосовувати міри, що попереджають прогин зразка під час виміру твердості. Зразок, що випробовується повинен лежати на підставці

стійко, щоб не могло відбутися його зміщення під час виміру твердості.

При вимірюванні пластичної твердості металів сталевий (твердосплавний) кулька або сферичний наконечник, радіус кривизни якого дорівнює $D/2$, вдавлюється в поверхню зразка, що випробовується, навантаженнями P_1 та P , що прикладаються послідовно. Після того, як кожне навантаження буде знято виміряють глибину, що йому відповідає на поверхні зразка, що випробовується.

Дозволяється проводити втискування кульки (наконечника) силою P у відбиток, що одержаний при навантаженні P_1 (рис. 1)

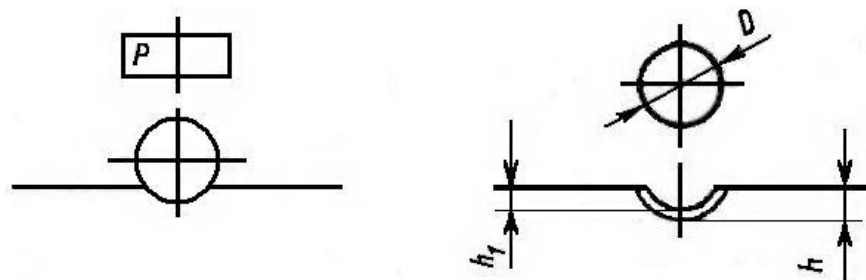


Рисунок 1 - Схема втискування кулькового індентора при вимірюванні твердості

Навантаження P та P_1 можуть прикладатись як в одній і тій же точці (повторно), так і в різних точках поверхні, що випробовується. Відстань від центру відбитку до краю зразка повинна бути не менше ніж D , а відстань між центрами двох сусідніх відбитків повинна бути не менше $1.5D$, де D – діаметр кульки.

При вимірюванні пластичної твердості на зразках чи деталях з криволінійною поверхнею довжина і ширина підготовленої поверхні повинно дорівнювати не менше $2D$.

Зміни повинні проводитись таким чином, щоб результати його не були спотворені явищем спучування країв зразка.

Глибину відбитку вимірюють з допомогою механічних (типу індикаторного глибиноміра) розрахункових пристроїв, похибка яких не повинна перевищувати 2%.

Відносна похибка навантажень P_1 та P не повинна перевищувати $\pm 1\%$. Граничні відхилення по діаметру кульки чи радіусу кривизни сферичного наконечника не повинні перевищувати 1% від D . В разі відсутності можливості адекватно поміряти глибину відбитку, можна розрахувати за допомогою знань про діаметр відбитку. Для цього використовують наступну залежність:

$$h = R - \sqrt{R^2 - \frac{d^2}{4}} \quad (1)$$

де h – глибина відбитку, мм; R – радіус кульки, мм; d – діаметр відбитку, мм.

Число пластичної твердості (НВ) обчислюють по формулі

$$HB = \frac{P - P_1}{\pi D(h - h_1)} \quad (2)$$

де P_1 , P – навантаження кгс; D – діаметр кульки або подвоєний радіус кривизни сферичної вершини наконечника, мм; h_1 , h – глибини відбитків, виміряні після зняття навантажень P_1 , P відповідно, мм.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

1. Вивчити будову та принцип роботи твердоміра.
2. Встановити навантаження P_1 , та заміряти твердість в кількох точках.
3. Встановити навантаження P , та заміряти твердість в кількох точках.
4. За допомогою мікроскопу встановити діаметри відбитків зроблених при навантаженнях P_1, P .
5. За допомогою формули 1 розрахувати глибини відбитків зроблених при навантаженнях P_1, P .
6. За допомогою формули 2 розрахувати твердість наплавленого металу.
7. Виміряні дані занести в таблицю 2.
8. Повторити пп. 2-6 при визначенні твердості основного металу, та швів покладених іншими матеріалами.
9. Порівняти твердості основного металу, та металів, накладених різними електродами.
10. Зробити висновки.

Таблиця 2

№ з/п	Метал, що вимірюється	P_1	P	d_1	d	h_1	h	НВ
1								
2								
3								
4								

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. В чому полягає суть методу вимірювання твердості?
2. В залежності від чого вибирають діаметр кульки (наконечника)?
3. В залежності від чого вибирають навантаження, яке прикладають до зразка?
4. Які вимоги висувають до навантажень, що прикладаються до зразка?
5. Які вимоги застосовуються до індентора?
6. Які вимоги застосовуються до поверхні, твердість якої вимірюється?
7. Які вимоги застосовуються до процесу прикладання навантаження?
8. Які вимоги застосовуються до місця прикладання навантаження?

ЛІТЕРАТУРА

1. Кузнецов В.Д. Методичні вказівки до виконання практичних робіт для студентів напрямку 6,050504 «Зварювання»
Кузнецов В.Д., Степанов Д.В. – К:ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2012,-27с.
2. Ющенко К. А., Борисов Ю. С., Кузнецов В. Д., Корж В. М. Інженерія поверхні. К.: Наукова думка, 2007. – 558 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

РОЗРАХУНКИ ВУГЛЕЦЕВОГО ЕКВІВАЛЕНТУ І ТЕМПЕРАТУР ПОПЕРЕДНЬОГО ПІДГРІВУ

МЕТА РОБОТИ: навчитись розраховувати вуглецевий еквівалент та проводити оцінку здатності до наплавлення різноманітних сталей.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

У більшості випадків у наплавлених низьколегованих композицій спостерігається пропорційна залежність між твердістю та зносостійкістю.

Твердість матеріалу підвищується зі збільшенням вмісту вуглецю і тому більш зносостійким виявляється метал, склад якого відповідає середньолегованим сталям. Однак підвищення в наплавленому металі кількості вуглецю ускладнює наплавлення через необхідність попереднього підігріву деталі для уникнення тріщин. Тому для підвищення зносостійкості наплавлений метал рекомендують легувати хромом, марганцем, молібденом та іншими елементами при обмеженій кількості вуглецю. Враховуючи роль вуглецю, його еквівалент використовують, з одного боку, як показник здатності до наплавлення, з іншого – як показник твердості наплавленого шару.

Формула для визначення вуглецевого еквіваленту, запропонована міжнародним інститутом зварювання:

$$C_{екв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (1)$$

Вважають, що при $C_{екв} < 0.4$ % тріщин нема, при $C_{екв} \approx 0.4 - 0.7$ % потрібний попередній підігрів, при $C_{екв} \approx 0.7 - 1.0$ % - високотемпературне підігрівання.

Формула для визначення вуглецевого еквіваленту, запропонована Д. Сеферіаном:

$$C_{екв} = [C]_x + [C]_p \quad (2)$$

де $[C]_x$ – хімічний еквівалент вуглецю, який характеризує склад сталі:

$$360 [C]_x = 360C + 40(Mn+Cr) + 20Ni + 28Mo \quad (3)$$

$[C]_p$ – розмірний еквівалент вуглецю, який визначає розміри виробів:

$$[C]_p = 0,005 \cdot S \cdot [C]_x \quad (4)$$

S – товщина виробу.

Японські вчені І.Іто та К.Бессіо замість $C_{екв}$ запропонували оцінювати схильність до утворення холодних тріщин параметром $P_{утв}$, який визначається за формулою:

$$P_{утв} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn + Cu + Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B + \frac{S}{600} + \frac{H}{60} \quad (5)$$

де S – товщина металу, мм; H – об'єм (кількість) дифузійного водню, $см^3/100$ г.

Якщо $P_{утв} \leq 0.3$, то холодні тріщини не утворюються; якщо $P_{утв} > 0.4$, то холодні тріщини утворюються з імовірністю 100%.

Для визначення вуглецевого еквіваленту вуглецевих і низьколегованих сталей використовується така формула:

$$C_{екв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} \quad (6)$$

Максимальна твердість визначається за виразом

$$H_{MAX} = 660 \cdot C_{екв} \pm 40 \quad (7)$$

Часто наплавлений метал відрізняється від основного, і імовірність виникнення тріщин стає більш характерною для основного металу. Тому попереднє підігрівання здійснюють, виходячи з даних про твердість при шовної зони. Для цього випадку існують рекомендації щодо вибору температур підігрівання залежно від твердості біляшовної зони (тобто твердості основного металу).

Для різних низьколегованих сталей рекомендовано таку температуру підігрівання (еквівалент вуглецю в якій визначається через формулу Сеферіана):

$$T_{під} = 350 \cdot \sqrt{C_{екв} - 0,25} \quad (8)$$

Формула, запропонована японськими вченими:

$$T_{під} = 1440 \cdot P_{утв} - 392 \quad (9)$$

де $P_{утв}$ – схильність до утворення холодних тріщин.

На основі практичного досліду та за результатами значень твердості рекомендовано температури, наведені в табл. 1

Таблиця 1 - Значення температур підігрівання залежно від твердості металу

Твердість, НВ	Температура підігрівання, °С
До 200	Без підігрівання
200 – 250	За необхідністю

250 – 325	Понад 150
Понад 325	Понад 250

ЗАВДАННЯ

- 1) Згідно з індивідуальним завданням провести розрахунок вуглецевого еквіваленту за формулами 1, 2, 5, 6.
- 2) Оцінити можливість утворення тріщин, при наплавленні наведених сталей.
- 3) Навести можливі температури попереднього підігріву, для уникнення тріщин.
- 4) Порівняти між собою різні сталі по схильності до тріщиноутворення під час наплавлення.

Таблиця 2 - Індивідуальні варіанти

№ варіанта	Марки сталей				
	Сталь конструкційна, вуглецева якісна	Сталь конструкційна на низьколегована для зварних конструкцій	Сталь конструкційна, легована	Сталь інструментальна штампова	Сталі та сплави корозійностійкі, жаростійкі, зносостійкі
1	05кп	09Г2	15Х	Х6ВФ	40Х9С2
2	08	14Г2	20Х	Х12	40Х10С2М
3	08 (кп, пс)	12ГС	30Х	Х12Ф1	08Х13
4	10	16ГС	35Х	Х12МФ	12Х13
5	15	17ГС	38ХА	Х12ВМ	20Х13
6	15(кп, пс)	17Г1С	40Х	7ХГ2ВМ	30Х13
7	18кп	09Г2С	45Х	7Х3	40Х13
8	20 (20А)	10Г2С1	50Х	8Х3	10Х14АГ15
9	20 (кп, пс)	10Г2БД	15Г	5ХНМ	12Х17
10	25	15Г2СФД	35Г	5ХГМ	08Х17Т
11	30	14Г2АФ	20Г	4ХМФС	95Х18
12	35	16Г2АФ	30Г	4Х5МФ1С	08Х18Т1
13	40	118Г2АФпс	40Г	4Х5МФС	15Х25Т
14	45	14ХГС	45Г	3Х3М3Ф	15Х28
15	50	15Г2АФДп	50Г	3Х2В8Ф	25Х13Н2
16	55	20ХГ2Ц	10Г2	3Х2Н2МВФ	20Х23Н13
17	58(55пп)	10ХСНД	35Г2	27Х2Н2М1Ф	20Х23Н18

18	60	10ХНДП	40Г2	6ХС	10Х23Н18
19	08Ю	15ХСНД	45Г2	4ХВ2С	20Х25Н20С2
20	0сВ	35ГС	50Г2	5ХВ2С	15Х12ВНМФ
21	12К	25Г2С	18ХГТ	6ХВ2С	20Х12ВНМФ
22	15К	09Г2	20ХГР	6ХВГ	37Х12Н8Г8МФБ
23	16К	14Г2	30ХГТ	10Х5МФ	13Х11Н2В2МФ
24	18К	12ГС	15ХФ	4Х2НМФ	45Х14Н14В2М

Примітка. Хімічний склад сталей взяти з «Марочника сталей та сплавів» під редакцією В.Г. Сорокіна.

Таблиця 3 - Хімічний склад сталей, що використовуються при практичній роботі

№ варіанта	Марка сталі	C	Mn	Si	Cr	S	P	Cu	Ni	As	V	Mo	W	Nb	Ti

Контрольні запитання

1. Для чого існує вуглецевий еквівалент?
2. Від чого залежить величина вуглецевого еквівалента?
3. Який елемент чинить найбільший вплив на здатність до наплавлення?
4. Розкрийте поняття «здатність до наплавлення»?
5. Від чого залежить температура попереднього підігріву?
6. Чи для всіх матеріалів справедливі наведені формули? Чому?

ЛІТЕРАТУРА

1. Кузнецов В.Д. Методичні вказівки до виконання практичних робіт для студентів напряму 6,050504 «Зварювання» Кузнецов В.Д., Степанов Д.В. – К:ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2012,-27с.

2. Ющенко К. А., Борисов Ю. С., Кузнецов В. Д., Корж В. М. Інженерія поверхні. К.: Наукова думка, 2007. – 558 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

РОЗРАХУНОК ШИХТИ ПОРОШКОВОГО ДРОТУ

Мета: практичне засвоєння методів розрахунку шихти порошкового дроту

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

У виробництві легованого електродного дроту найбільш складним і дорогим процесом є волочіння. Дріт із зносостійкої сталі повинен містити більше вуглецю, ніж наплавлений метал, що збільшує твердість дроту і ускладнює волочіння. Загальноприйнята технологія волочіння з малими переходами від одного діаметру до іншого і багаторазовим відпалом після кожного проходу дротом через фільтр пов'язана з великими витратами засобів і часу. В результаті дріт, наприклад, з швидкоріжучої сталі, приблизно в 3 рази дорожчий, ніж катанка, з якої вона виготовляється.

Якість порошкового дроту контролюють по складу наплавленого металу, оскільки хімічний аналіз суміші порошків вельми складний. Порошковий дріт маркується буквами ПП з назвою марки сталі або сплаву, для наплавлення якого вона призначена.

Точний розрахунок шихти є найважливішою операцією при виробництві порошкового дроту. Розрахунок і його корегування за дослідними даними абсолютно обов'язкові при

зміні товщини стрічки, (в межах допуску), при зміні партії сировини, умов його помолу і ін. Метою розрахунку є визначення складу суміші, яка при запресовці в якості сердечника забезпечить досягнення порошкового дроту заданого складу.

Для того, щоб одержати наплавлений метал, що відповідає по хімічному складу відповідній сталі, необхідно у склад дроту ввести трохи більшу кількість легуючих домішків, оскільки в дузі відбувається їх окислення. Так, наплавлений шар дротом ПП-3Х2В8 має, орієнтовно наступний хімічний склад:

Вуглець.....	0.32
Хром.....	2.5
Марганець.....	0.8
Кремній.....	0.6
Вольфрам.....	8.5
Ванадій.....	0.3
Сірка.....	не більше 0.04
Фосфор.....	не більше 0.04

Оптимальний хімічний склад дроту, визначений дослідним шляхом буде наступним:

Вуглець.....	0.6
Хром.....	2.8
Марганець.....	1.45
Кремній.....	0.6
Вольфрам.....	9.75

Ванадій.....0.4

Сірка.....не більше 0.04

Фосфор.....не більше 0.04

Для виконання розрахунку необхідно знати механічний склад дроту, тобто співвідношення в головному дроті маси сердечника і маси оболонки, а також хімічний склад всіх матеріалів, що використовуються.

Для першочергового розрахунку при використанні стрічки товщиною 0.8 мм і шириною 15 мм можна прийняти, що сердечник складає 35% маси дроту, інакше кажучи, на 100 масових частин дроту припадає 35 масових частин сердечника і 65 масових частин оболонки.

Для прикладу розрахуємо шихту для вже названого дроту ПП-3Х2В8. Припустимо, що у нас в користуванні є матеріали, хімічний склад яких вказано в табл.1

Таблиця 1 - Хімічний склад матеріалів, з яких виготовляється порошковий дріт, %

Матеріал	C	Mn	Si	Cr	W	V	S
Стрічка 0.76-14.9	0.11	0.42	0.02	-	-	-	0.038
Феровольфрам В2	0.68	0.18	0.45	-	75.2	-	0.072
Ферохром Хр6	7.36	0.8	1.26	66.8	-	-	0.02
Ферованадій Вд1	0.7	0.1	1.85	-	-	35.5	0.04
Феромарганець Мн4	6.6	76.9	1.52	-	-	-	0.015
Залізний порошок АПЖМ	0.04	0.12	-	-	-	-	0.01

Розрахунок ведеться на 100 г дроту. У відповідності з прийнятим розрахунковим складом ми повинні розрахувати

склад сердечника, щоб на 100 г дроту припадало 0.6 г С, 2.8 г Cr, 1.45 г Mn, 0.6 г Si, 9.75 г W, 0.4 г V.

Масу елемента, який вноситься можна знайти за допомогою формули 1:

$$m_e = \frac{m_{MAT} \times \%_e}{100} \quad (1)$$

де m_e , г – маса елемента, що вноситься матеріалом, m_{MAT} , г – маса матеріалу, $\%_e$, % - відсотковий вміст елемента в матеріалі, 100 % – сума всіх відсоткових вмістів елементів в матеріалі.

Визначимо, яку кількість домішок внесе оболонка, тобто стрічка. На 100 г дроту припадає 65 г стрічки. За даними аналізу, що наведений в таблиці 1 та згідно з формули 1 отримуємо:

$$m_{C.cmp.} = \frac{65 \times 0.11}{100} = 0.072$$
$$m_{Mn.cmp} = \frac{65 \times 0.42}{100} = 0.272$$
$$m_{Si.cmp} = \frac{65 \times 0.02}{100} = 0.012$$
$$m_{S.cmp} = \frac{65 \times 0.038}{100} = 0.0252$$

де $m_{CCтр}$, $m_{MnCтр}$, $m_{SiCтр}$, $m_{SCтр}$ – маси, відповідно, вуглецю, марганцю, кремнію та сірки, що вносяться в дріт стрічкою.

Наступним кроком буде визначення необхідної кількості феровольфраму, та маси домішок, що вносяться у дріт разом з феровольфрамом.

Щоб отримати 9.75 г вольфраму, необхідно взяти феровольфраму, що містить 75.2% W (див. табл.1):

$$m_{B2} = \frac{m_{WB2 \times 100}}{\%_{WB2}} \quad (2)$$

де m_{B2} , г-маса феровольфраму, що вноситься, m_{WB2} , г-маса вольфраму, що вноситься феровольфрамом, $\%_{WB2}$, %-відсотковий вміст вольфраму у феровольфрамі, 100, % - сума всіх відсоткових вмістів елементів в матеріалі.

$$m_{B2} = \frac{9.75 \times 100}{75.2} = 12.97 \text{ г}$$

Використовуючи хімічний склад феровольфраму знайдемо масу домішок внесених феровольфрамом:

$$m_{CB2} = \frac{12.97 \times 0.68}{100} = 0.09 \text{ г}$$

$$m_{MnB2} = \frac{12.97 \times 0.18}{100} = 0.02 \text{ г}$$

$$m_{SiB2} = \frac{12.97 \times 0.45}{100} = 0.06 \text{ г}$$

$$m_{SB2} = \frac{12.97 \times 0.072}{100} = 0.009 \text{ г}$$

Аналогічно проводимо розрахунок кількості ферохрому, необхідного для внесення 2.8г Cr, та ферованадію для внесення 0.4 г V, а також кількість домішок, що супроводжують легуючі елементи.

Для визначення необхідної кількості феромарганцю, що потрібно внести з феромарганцем, необхідно врахувати марганець, який уже внесли з іншими матеріалами.

$$m_{\sum Mn} = m_{Mn.cmp} + m_{MnB2} + \dots + m_{MnB1} \quad (3)$$

де, $m_{\sum Mn}$ – сумарна маса марганцю, уже внесеного різними матеріалами, m_{MnCmp} , m_{MnB2} , m_{MnB1} – маса марганцю внесеного

стрічкою, феровольфрамом, ферованадієм, та іншими матеріалами, які уже внесені.

Знаючи масу внесеного марганцю, дізнаємось масу марганцю, який необхідно додати:

$$m_{MnДод} = m_{ПП-3X2B8} - m_{\sum Mn} \quad (4)$$

де, $m_{MnДод}$ – маса марганцю, який необхідно внести додатково, $m_{ПП-3X2B8}$ - масова частка марганцю в дроті.

Використавши дані таблиці 1, та формули 1, 2 та 3 знайдемо, що ми вже внесли 0.32 г марганцю.

Згідно з формулою 4 залишається внести: $1.53 - 0.32 = 1.21$ г марганцю.

Марганець буде внесено з феромарганцем, згідно з формулою(2) визначаємо кількість феромарганцю, що вноситься:

$$m_{Mn4} = \frac{1.21 \times 100}{76.9} = 1.58 \text{ г феромарганцю}$$

Одночасно з марганцем буде внесено кремній, сірку та вуглець. Розрахуємо маси внесених елементів згідно з формулою 1.

По аналогії з формулою 3 потрібно розрахувати кількість вуглецю,що був внесений з різними матеріалами. Для даного дроту та матеріалів,що були внесені вона буде дорівнювати 0.58 г. Дріт же потребує 0.63 г вуглецю. Тому додатково потрібно внести 0.05 г вуглецю.

Для забезпечення необхідної кількості вуглецю введемо відповідну кількість графіту, який містить не менше 98% С. По аналогії з формулою 2 потрібно взяти:

$$m_C = \frac{0.05 \times 100}{98} = 0.05 \text{ г графіту}$$

Залишається визначити кількість залізного порошку. Обчислюємо його, як різницю між загальною масою сердечника і масою всіх легуючих складових. Як зазначалось на початку роботи маса сердечника складає 35г. Отже, при наших даних маса залізного порошку, який потрібно внести додатково складає:

$$35 - (4.19 + 12.96 + 1.15 + 1.58 + 0.05) = 15.07 \text{ г}$$

З залізним порошком буде внесено якусь кількість вуглецю, марганцю та сірки. Використовуючи формулу 1 потрібно розрахувати їх масу.

Всі одержані дані зводимо в таблицю. Підсумок дає сумарний хімічний склад дроту у відсотках (так як ми вели розрахунок для 100 г). Для обчислення складу суміші чи шихти сердечника у відсотках потрібно кількість кожного матеріалу розділити на загальну масу сердечника і помножити на 100.

Результати розрахунку, наведені в табл.2, показують, що розрахований хімічний склад дроту відповідає завданню. Рецепт суміші у відсотках вказаний в останній графі таблиці. Якщо виявляється, що сумарний склад по якомусь елементу (сірка, кремній, фосфор тощо) перевищує допустимі межі, то

потрібно замінити матеріал, який перевищує кількість цих домішок більш чистими.

Таблиця 2 - Розрахований сумарний хімічний склад порошкового дроту для наплавлення сталі 3Х2В8

Матеріал	Кількість матеріалу, г	Домішки, г							Шихта, %
		C	Mn	Si	Cr	W	V	S	
Стрічка	65	0.07	0.27	0.01	-	-	-	0.025	-
Ферохром	4.19	0.31	0.03	0.05	2.8	-	-	0.001	12
Феровольфрам	12.96	0.09	0.02	0.06	-	9.75	-	0.009	37.05
Ферованадій	1.15	0.01	-	0.02	-	-	0.41	-	3.3
Феромарганець	1.58	0.1	1.21	0.02	-	-	-	-	4.5
Графіт	0.05	0.05	-	-	-	-	-	-	0.15
Залізний порошок	15.07	0.01	0.02	-	-	-	-	0.001	43
Сумарний хімічний склад, %	100г	0.64	1.55	1.16	2.8	9.75	0.41	0.036	100

Індивідуальні варіанти

№ вар.	Марка дроту	C	Cr	Mn	Si	Ni	W	V	Mo	Ti	B
1	ПП-АН101	3	24	0.6	3	3	-	-	-	-	-
2	ПП-АН104	1.8	12	0.6	0.6	-	1	0.25	-	-	-
3	ПП-АН105	1	-	13	0.5	4.2	-	-	-	-	-
4	ПП-АН106	0.2	13.5	0.4	0.4	-	-	-	-	0.2	-
5	ПП-АН120	0.18	1.8	18	0.6	-	-	-	0.7	-	-
6	ПП-АН121	0.18	0.8	1	0.6	-	-	0.15	-	0.25	-
7	ПП-АН122	0.3	4.5	1.6	0.8	-	-	-	0.6	0.25	-
8	ПП-АН124	2.8	17	1	0.6	-	-	-	-	-	0.3

9	ПП-АН125	2	15	1	1.5	-	-	-	-	0.3	0.7
10	ПП-АН130	0.25	5	0.6	1.2	-	-	0.4	1.2	-	-
11	ПП-АН133	0.12	17	1.2	5.4	8	-	-	-	0.1	-
12	ПП-АН138	0.1	15	0.6	0.2	1.8	-	-	-	0.2	-
13	ПП-АН170	0.7	20	0.6	0.6	-	-	-	-	0.2	3
14	ПП-25X5ФМС	0.25	5.2	0.6	1.1	-	-	0.4	1.2	-	-
15	ПП-3X4В3Ф	0.25	4	0.6	0.6	-	3.5	0.6	-	0.2	-
16	ПП-Х12ВФ	2.4	15	0.6	0.4	-	1.3	0.3	-	-	-
17	ПП-У15Х17Н2	2	20	0.8	0.7	2	-	-	-	-	-
18	ПП-Х10В14	4	10	0.4	0.4	-	14.5	-	-	-	-
19	ПП-Р18	1.1	4.3	0.4	0.4	-	19	1.5	-	-	-
20	ПП-Г13А	1.2	-	15.3	0.5	-	-	-	-	-	-
21	ПП-4Х2В8Т	0.5	3	1	0.3	-	10	0.35	-	1	-
22	ПП-У45Х25Г6Т	5.3	25	7	0.9	-	-	-	-	1	-
23	ПП-Р18Т	0.3	4.7	0.4	0.5	-	20	1.4	-	1	-
24	ПП-Х12ВФТ	2.5	15	0.4	0.6	-	1.3	1	-	1	-

Вміст S та P не більше 0.04 % для кожного дроту.

Додаток

Матеріали, які використовуються в якості шихти при виготовленні порошкового дроту.

Таблиця 1 - Стрічка

Сталь	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
08ПС	0.05-0.12	0.17	0.25-0.65	0.03	0.03	0.1	0.25
08КП	0.05-0.11	0.03	0.25-0.5	0.04	0.04	-	-

Таблиця 2 - Феромарганець

Марка	Mn	Si	C	S	P
ФМn1.0А	85	1.5	1	0.03	0.1
ФМn1.0	85	2	1	0.03	0.3
ФМn1.5	85	2.5	1.5	0.03	0.3

Таблиця 3 - Феросиліцій

Марка	Si	Mn	Cr	Al	S	P	Ca
АС90	89	0.2	0.2	3	0.02	0.03	0.5
АС75	74-80	0.4	0.4	2.5	0.03	0.05	-

Таблиця 4 - Силікомарганець

Марка	Mn	Si	C	P гр.. А	P гр.. Б	S
CMn20	65	20-25.9	1	0.1	0,25	0,03
CMn17	65	17-19.9	1.7	0.1	0,25	0,03
CMn14	65	14-16.9	2.5	0.2	0,35	0,03

Таблиця 5 - Феротитан

Марка	Ti	C	S	P	Cu	Mo	Zn	V	Zn	Al/Ti	Si/Ti
Ти-0	28-35	0,1	0,03	0,04	0,05	0,05	0,1	0,2	0,01	0,25	0,14
Ти-1	28-35	0,15	0,04	0,04	2	0,4	0,3	0,4	0,04	0,25	0,16
Ти-2	25-35	0,2	0,07	0,07	3,5	1	0,7	1	0,08	0,4	0,28

Таблиця 6 - Ферохром

Марка	Cr	C	Si	S	P
ФХ100	65	1	2	0,04	0,04
ФХ200	65	2	2	0,04	0,04
ФХ650	65	6,5	1,5	0,06	0,04

Таблиця 7 - Феромолібден

Марка	Mo	Cu	W	Si	C	S	P	As	Sb	Zn
ФМ-1	58	0.5	0.6	0.8	0.05	0.1	0.05	0.03	0.02	0.015
ФМ-2	55	1.5	1	1.5	0.1	0.15	0.1	0.05	0.05	0.05

Таблиця 8 - Ферованадій

Марка	V	C	Si	Al	As	S	P
Вд 1	35	0.75	2	1	0.05	0.1	0.1
Вд 2	35	0.75	3	1.5	0.05	0.1	0.2

Таблиця 9 - Феровольфрам

Марка	W	Mo	Mn	Si	C	Cu	As	Sn	S	P
В1	72	1.5	0.5	0.5	0.3	0.15	0.04	0.08	0.08	0.04
В2	71	2	0.5	0.8	0.5	0.2	0.06	0.1	0.1	0.06

Таблиця 10 – Фероніобій

Марка	Nb+Ta	Si	Al	Ti	C	S	P
ФН1	55-70	1.5	3	1.5	0.1	0.05	0.15

Таблиця 11 - Феробор

Марка	B	Si	Al	C	S	P	Cu
ФБ-0	20	2	3	0.05	0.01	0.015	0.05
ФБ-1	17	3	5	0.2	0.02	0.03	0.1

Таблиця 12 - Порошок залізний

Марка	Fe	C	Si	Mn	O ₂	S	P
ПЖ-1	98.8	0.08	0.1	0.1	0.2	0.02	0.02
ПЖ-2	98.8	0.03	0.1	0.3	0.2	0.02	0.02

Таблиця 13 - Нікелевий порошок

Марка	Ni+Co	Co	Fe	S	Cu	Si	C	O ₂
ПНЭ1	99,5	0,5	0,2	0,008	0,08	0,03	0,02	0,1
ПНЭ2	99,3	0,5	0,25	0,02	0,08	0,04	0,04	0,1
ПНЭ3	99,5	0,5	0,2	0,01	0,08	0,03	0,02	0,1

Таблиця 14 - Вольфрамовий порошок

Марка	W	Si	Ca	Fe	S	P
ПВТ	99-99.5	0.003	0.005	0.006	0.001	0.005

Таблиця 15 - Кобальтовий порошок

Марка	Co	Fe	Si	Ni	C	Cu
ПК-1	99.2	0.2	0.03	0.4	0.02	0.05
ПК-2	98.2	0.5	0.05	0.2	0.05	0.1

Таблиця 16 - Молібденовий порошок

Марка	Mo	S	P	Fe	Si
МПЧ	96-98	0.001	0.001	0.005	0.003

Таблиця 17 - Алюмінієвий порошок

Марка	Al	Fe	Si	Cu+Zn
ПАМ-4	95	1.2	1.5	0.6

Таблиця 18 - Хром металічний

Марка	Cr	Al	Si	Fe	C	P	S	Cu
X0	98.5	0.5	0.4	0.6	0.03	0.02	0.02	0.02
X1	98	0.5	0.5	0.8	0.04	0.03	0.03	0.04
X2	97	0.7	0.5	1.2	0.05	0.03	0.04	0.05

Таблиця 19 - Марганець металічний

Марка	Mn	Si	P	Fe	C	S
Mr0	99.7	-	0.01	-	0.1	0.1
Mr1	95	0.8	0.05	2.5	0.1	-

Таблиця 20 - Кремній кристалічний

Марка	Si	Fe	Al	Ca
Kp1	98	0.7	0.7	0.6
Kp2	97	1	1.2	0.8

Таблиця 21 - Карбід хрома

Матеріал	Cr	C
Карбід хрома	86	14

Таблиця 22 - Лігатура ферохром борова комплексна середньо вуглецева

Марка	B	S	Al	C	Ti	Mn	Cr
ФХБТМ-1	9-14	1.5-5	0.5-3.5	0.5-2	0.5-2.5	1-5	50

Таблиця 23 - Лігатура нікель-бор і залізо-хром-бор

Марка	Основа сплаву	B	Cr	C	S	P	Si	Al
НБ-1	Нікель	11	-	0,1	0,01	0,01	2	9
НБ-2	Нікель	17	-	0,2	0,02	0,03	2	9
ФХБ-1	Хром-	17	43	0,8	0,02	0,03	3	5
ФХБ-2	залізло	15	35	0,6	0,03	0,03	3	6

Таблиця 24 - Лігатура ферохром борова комплексна вуглецева

Марка	B	Cr	Si	Al	Mn	Ti	C
УФХБТМ-1	3-6	55-70	3-8	2.5	1-6	0.5-3	3-6

Таблиця 25 - Лігатура залізо-хром-бор-кремній-марганець-нікель-вуглецьвмісні

Марка	B	Cr	Si	Mn	C	Ni	S	P
ЖКМУ-2	1.5-3	40	5-10	2-6	3-6	-	0.04	0.06
ЖКМУ-1	-	40	5-10	2-6	3-6	4-8	0.4	0.06

ЛІТЕРАТУРА

1. Кузнецов В.Д. Методичні вказівки до виконання практичних робіт для студентів напряму 6.050504 «Зварювання» Кузнецов В.Д., Степанов Д.В. – К:ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2012,-27с.
2. К.А. Ющенко, Ю.С. Борисов, В.Д. Кузнецов, В.М. Корж Інженерія поверхні. Підручник. – К.: НВП «Наукова думка» НАН України, 2007. – 558 с.
3. И.И. Фрумин Автоматическая электродуговая наплавка. – Харьков. Металлургиздат, 1961. – 422 с.
4. И.И. Фрумин, Е.И. Лейначук, Ю.А. Юзвенко, М.М. Нероденко. Основы технологии механизированной наплавки. – Москва. Профтехиздат, 1961. – 304 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №4
ДОСЛІДЖЕННЯ ТОВЩИНИ ЩАРУ НАПЛАВЛЕНОГО
МЕТАЛУ ПРИ ІНДУКЦІЙНОМУ НАПЛАВЛЕННІ
ТОНКИХ ПЛОСКИХ

Мета: визначення похибки технологічного процесу індукційного наплавлення тонких плоских деталей (фасонних дисків) стійкими до зношування порошкоподібними твердими сплавами на основі теорії ймовірності і математичної статистики.

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

На якість технологічного процесу наплавлення впливає ряд факторів. Деякі з них створюють систематичні похибки, які носять змінний або постійний характер.

Прикладом систематичної постійної похибки є засипання зносостійкого порошкоподібного твердого сплаву на поверхню, яка підлягає наплавленню з метою підвищення зносостійкості і довговічності робочих поверхонь деталей. Крім того встановлення деталі на стіл і притискання її пневмоциліндром, частина шихти під дією вібрації зсувається з поверхні деталі в сторону, яка не підлягає наплавленню, а частина висипається на основу (підлогу), що впливає на нерівномірність товщини шару наплавленого зносостійкого сплаву по поверхні деталі.

Випадкові похибки виникають в результаті дії великої кількості не пов'язаних між собою факторів, які можуть мати різні значення. Визначити наперед момент їх появи і точну величину яких для кожної конкретної деталі в партії є неможливим.

Особливо це стосується зварювального виробництва, при розробці нових технологічних процесів наплавлення і напилення робочих поверхонь деталей машин.

У зв'язку з цим розміри товщин наплавленого металу одержуються різні і коливаються у відповідних межах допуску. Частина наплавлених деталей буде мати розміри близькі до верхньої межі допуску, а частина - до нижньої, які вказані в кресленні.

Необхідно відмітити, що при індукційному наплавленні спочатку нагрівається основний метал, а від його поверхні розплавляється порошкоподібний твердий сплав. Тобто, поверхня, яка підлягає наплавленню нагрівається за допомогою індуктора, який збуджує на поверхні деталі невидимі вихрові струми Фуко. При цьому методі температура плавлення основного металу повинна бути вища за температуру плавлення порошкоподібного твердого сплаву. Схема індукційного наплавлення наведена на рис. 1.

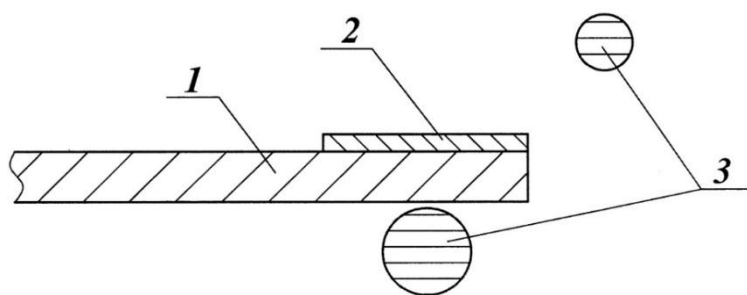


Рисунок 1 - Схема індукційного наплавлення: 1 – деталь; 2 – порошкоподібний твердий сплав; 3 – двовитковий кільцевий індуктор

Для виявлення закономірностей похибок, які виникають при напавленні, використовують методи математичної статистики і теорії ймовірності.

Вимірявши товщини партії напавлених деталей, розбивають їх на групи з однаковими відхиленнями, або відхиленнями в межах певного інтервалу і результати зображують графічно. При цьому по осі ординат відкладають число деталей з однаковими розмірами (частота випадків), а по осі абсцис - їх розміри або відхилення. З'єднуючи точки, одержують ламану лінію. Із збільшенням кількості вимірювань ця лінія наближається до кривої, яка називається кривою розсіювання (розподілу) розмірів рис.2.

Різниця між найбільшим і найменшим розміром називається величиною розсіювання розмірів.

Необхідною умовою при напавленні є те, що розсіювання розмірів не повинно перевищувати допуску на

наплавлення. При невиконанні цього - розсіювання перевищує допуск - деталі одержуються з дефектом.

Якщо при обробці мають місце тільки випадкові похибки, крива розсіювання приймає симетричну форму. Систематична постійна похибка не впливає на форму розподілу, вона лише змінює її положення в напрямку осі абсцис.



Рисунок 2 - Крива розсіювання розмірів

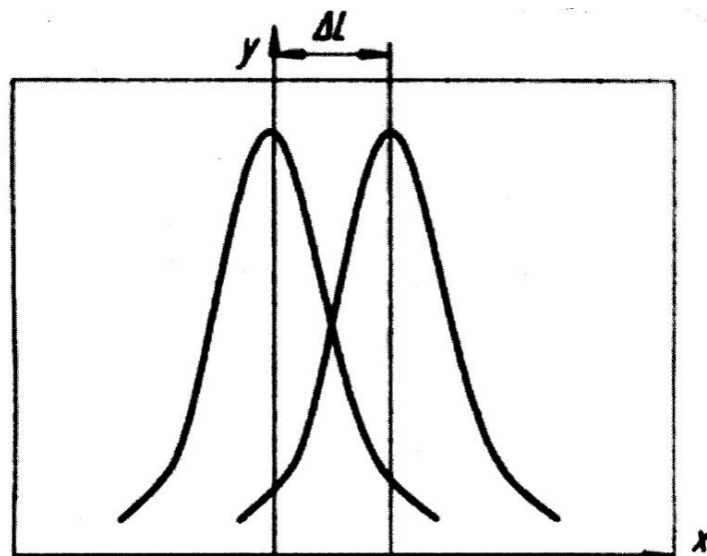


Рисунок 3 - Зміщені криві розсіювання розмірів, визваних похибкою налагодженого технологічного процесу

Якщо побудувати криву розсіювання розмірів, одержаних при наплавленні партії деталей при одному відлагодженому режимі наплавлення і криву розсіювання розмірів, одержаних при обробці другої партії деталей на тому же режимі, але при вторинному відлагодженні, тоді одержимо дві однакові криві, але зміщені одна відносно другої по осі абсцис рис.3. Величина цього зміщення ΔL характеризує похибку налагодження в даному випадку технологічного процесу наплавлення.

Криві розсіювання характеризують точність наплавлення деталі.

Випадкові похибки в розмірах наплавлених деталей партії підпадають закону нормального розподілу, який графічно зображується кривою Гауса рис.4., яка має симетричну форму із заокругленою вершиною і з кожної сторони по одній точці перегину А і В на деякій відстані від вершини.

Рівняння кривої нормального розподілу має такий вигляд:

$$y = \phi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

де y - частота появи похибки;

σ - середнє квадратичне відхилення аргументу;

x - відхилення дійсних розмірів від середніх.

Якщо розбити всі деталі в партії на групи по інтервалам розмірів, тоді середній розмір деталі в партії $L_{сер}$ дорівнює середньому арифметичному з розмірів всіх деталей всіх груп, тобто:

$$L_{cep} = \frac{m_1 L_1 + m_2 L_2 + \dots + m_K L_K}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=K} Lim_i = \frac{\sum_{i=1}^{i=K} Lim_i}{n}, \quad (2)$$

де m_i - кількість деталей в партії;

L_i - розміри окремих груп деталей, які відповідають кожному інтервалу;

$n = \sum m_i$ - загальна кількість вимірних точок в партії;

K - число груп, яке відповідає числу інтервалів.

Середнє квадратичне відхилення σ виражається формулою:

$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{\frac{m_1 x_1^2 + m_2 x_2^2 + \dots + m_K x_K^2}{n}} = \sqrt{\frac{m_1 (L_1 - L_{cep})^2 + m_2 (L_2 - L_{cep})^2 + \dots + m_K (L_K - L_{cep})^2}{n}} = \\ &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=K} (L_i - L_{cep})^2 m_i}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=K} x_i^2 m_i}{n}} \end{aligned} \quad (3)$$

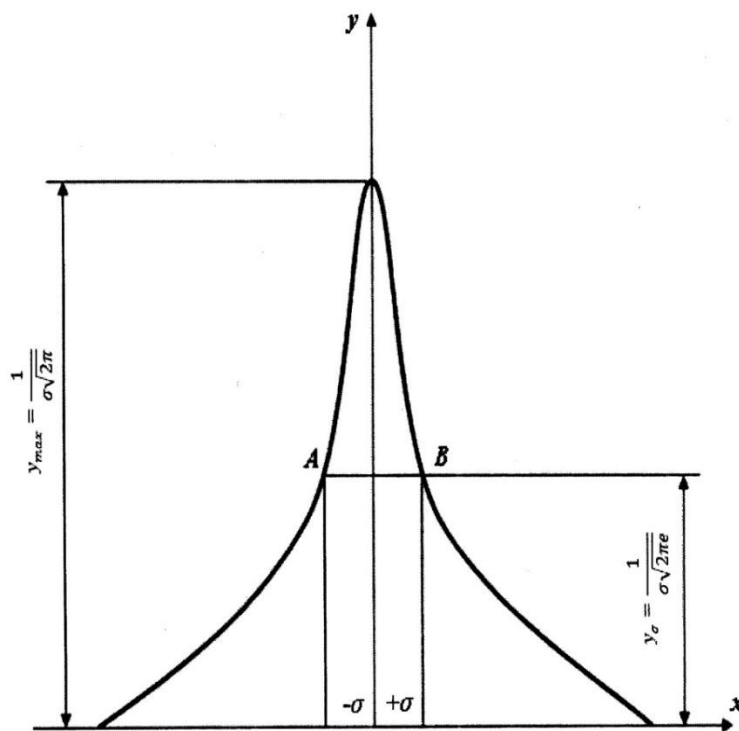


Рисунок 4 - Крива нормального розподілу

де $x_1 = L_1 - L_{\text{сер}}$, $x_2 = L_2 - L_{\text{сер}}$, $x_K = L_K - L_{\text{сер}}$ - відхилення дійсних розмірів від середнього арифметичного в кожній групі деталей.

Абсолютна величина поля розсіювання дорівнює:

$$\varepsilon = L_{\text{max}} - L_{\text{min}}.$$

З рівняння кривої нормального розподілу (1) видно:

1) при $x=0$ максимально ордината (y_{max}) дорівнює:

$$y_{\text{max}} = \frac{1}{\sigma} \sqrt{2\pi} \cong 0.4 \frac{1}{\sigma}; \quad (4)$$

при $x = \pm\sigma$ ордината для точок перегину А і В ($y\sigma$) дорівнює:

$$y\sigma = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi e}} = \frac{y_{\text{max}}}{\sqrt{e}} = 0.6 y_{\text{max}} = 0.24 \frac{1}{\sigma}; \quad (5)$$

3) величина поля розсіювання:

$$\varepsilon = \pm x_{\text{max}}. \quad (6)$$

На основі досліджень встановлено, що в інтервалі абсциси кривої $x = \pm 0.36\sigma$ знаходиться 35% всіх наплавлених деталей, в інтервалі $x = \pm 3\sigma$ - 99,7%.

Як видно, відхилення дійсних розмірів від середнього розміру майже всіх наплавлених деталей знаходиться в межах від $+3\sigma$ до -3σ тобто абсолютна величина відхилення дорівнює 6σ . Отже, якщо допуск на обробку, більше 6σ , тоді поле розсіювання розмірів і похибка наплавлення менше допуску, тобто всі деталі по розмірам придатні.

Для проведення кривої нормального розподілу до того масштабу, в якому нарисована крива розсіювання фактичних

розмірів, необхідно ординати, які обчислені за звичайними формулами, помножити на величину інтервалу розмірів (ΔL) і на величину, яка дорівнює повному числу деталей в партії (n).

В зв'язку з цим формули (4,5 і 6) приймуть вигляд:

$$y_{\max} = 0.4 \frac{n \cdot L^2}{\sigma}; \quad (4')$$

$$y_{\max} = 0.24 \frac{n \cdot L}{\sigma}; \quad (5')$$

$$x_{\max} = \pm 3\sigma. \quad (6')$$

Ці дані служать для побудови кривої нормального розподілу.

Припускаючи, що розсіювання фактичних розмірів відповідає нормальному закону розподілу, можна визначити ймовірність дотримання заданого допуску обробки по дослідженій операції.

Для цього необхідно нанести на графік розподілу в прийнятому масштабі величину поля заданого допуску і через кінці відповідного відрізка провести ординати до перетину з кривою розподілу. Частина площі під кривою між проведеними ординатами відповідає кількості деталей, розміри яких не виходять за межі поля допуску.

Ймовірність одержання деталей в межах поля допуску дорівнює відношенню площі, обмеженою кривою розподілу і ординатами, проведеними через кінці поля допуску, до всієї площі кривої розподілу.

Для визначення величини відповідних площ (обмежених верхньою і нижньою межею допуску), розміщених по обидві сторони центру розсіювання, використовується приведена функція Лапласа при аргументі

$$z = \frac{x}{\delta};$$
$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \quad (7)$$

при цьому мається на увазі, що вся площа кривої розподілу виражається формулою:

$$2F(z) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz = 1. \quad (8)$$

Визначивши ймовірність отримання розмірів деталей в межах поля допуску, можна визначити ймовірність отримання розмірів деталей, які виходять за межі поля допуску, тобто ймовірність отримання дефекту.

Ймовірність отримання дефекту (в %) визначається для двох випадків:

- 1) для випадку зміщення центра поля розсіювання від середини поля допуску (по абсцисі);
- 2) для випадку співпадання центра поля розсіювання з серединою поля допуску (по абсцисі).

Розрахунок ведеться за наступними формулами.

Для першого випадку.

Величина зміщення центра поля розсіювання від середини поля допуску по абсцисі дорівнює:

$$\Delta L_u = L_{cep} - \frac{(L_B + L_H)}{2}, \quad (9)$$

де L_{cep} - абсциса центра поля розсіювання - середній арифметичний розмір;

L_B - верхня межа значення поля допуску (по абсцисі);

L_H - нижня межа значення поля допуску (по абсцисі).

Значення аргументу z для верхнього (z_B) і нижнього (z_H) граничних значень допуску рівне:

$$z_B = \frac{(L_B - L_{cep})}{\sigma}; \quad (10)$$

$$z_H = \frac{(L_H - L_{cep})}{\sigma}. \quad (11)$$

Ймовірність отримання дефекту τ' (в %) по верхній межі допуску дорівнює:

$$\tau'_B = [0.5 - F(z_B)]100; \quad (12)$$

по нижній межі допуску:

$$\tau'_H = [0.5 - F(z_H)]100. \quad (13)$$

Для другого випадку.

Ймовірність отримання дефекту τ'' (в %) рівна:

$$\tau'' = \left[1 - 2F\left(\frac{L_B - L_H}{2\sigma}\right) \right] \cdot 100. \quad (14)$$

Величина $F = 0.5\phi(z)$ виражає долю від площі між кривою Гаусса і віссю абсцис, яку приймаємо за одиницю.

Значення функції $\phi(z)$ через десятю долю аргумента наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 - Значення функцій $\phi(z)$

0,0	0,0000	1,2	0,7699	2,4	0,9836
0,1	0,0797	1,3	0,8064	2,5	0,9876
0,2	0,1585	1,4	0,8385	2,6	0,9907
0,3	0,2358	1,5	0,8664	2,7	0,9931
0,4	0,3108	1,6	0,8904	2,8	0,9949
0,5	0,3829	1,7	0,9109	2,9	0,9963
0,6	0,4515	1,8	0,9281	3,0	0,9973
0,7	0,5161	1,9	0,9426	3,1	0,99806
0,8	0,5763	2,0	0,9545	3,2	0,99862
0,9	0,6319	2,1	0,9643	3,3	0,99903
1,0	0,6827	2,2	0,9722	3,4	0,99933
1,1	0,7287	2,3	0,9786	3,5	0,99953

Так як метод визначення ймовірної точності наплавлення на основі побудови кривих розсіювання не відображає послідовності наплавлених деталей, тоді метод побудови точкових діаграм не має цього недоліку.

При цьому методі графічно зображується зміна товщин наплавлених деталей партії в певній послідовності їх наплавлення.

Для побудови такої діаграми по осі абсцис відкладають номери послідовно наплавлених деталей, а по осі ординат – розміри, одержані в результаті наплавлення, а також наноситься поле допуску товщини наплавленого шару металу.

Отримане розкидання точок буде характеризувати розсіювання розмірів даної групи деталей.

За побудованими таким чином діаграмами важко встановити загальний напрямок (тенденцію) зміни розмірів послідовно наплавлених деталей партії. Для усунення цього недоліку необхідно замість декількох точок, розміщених на одній вертикалі, нанести одну точку, яка означає середній розмір товщин деталей даної групи.

Отримані точки, які відповідають середнім груповим розмірам, з'єднуються кривою лінією.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Приклад.

3.1. На високочастотному генераторі необхідно індукційним методом наплавити 5 дисків зносостійким порошкоподібним твердим сплавом ПГ-С1 (рис.5, рис.6):

δ_1 - товщина основного металу з шариком;

δ_2 - товщина шару наплавленого металу разом з шариком і основним металом;

$\delta = \delta_2 - \delta_1$ - товщина наплавленого металу.

3.2. Товщину наплавленого металу заміряємо за допомогою мікрометра, який має одну губку напівсферичну, а іншу з плоскою поверхнею (рис.5). Кожну товщину заносимо в таблицю 2 в порядку їх виміру. Заміри проводимо в 36-ти точках диска як показано на рис. 5 по радіусу R_1 або R_2 .

Товщина наплавленого шару згідно креслення повинна знаходитися в межах $I_{-0.2}^{+0.5}$ мм.

На основі вимірних результатів методами теорії ймовірності і математичної статистики дослідити технологічний процес наплавлення за раніше описаною методикою.

Приведені розміри (L_i) розбивають на 12 груп через встановлені інтервали (ΔL) в 0,1 мм з вказаною абсолютною частотою (m_i) появи розмірів всередині кожного інтервалу.

Інтервал розмірів визначається в залежності від числа вибірки: якщо $n > 100$, тоді число інтервалів визначається з виразу

$$f = 5 \lg n,$$

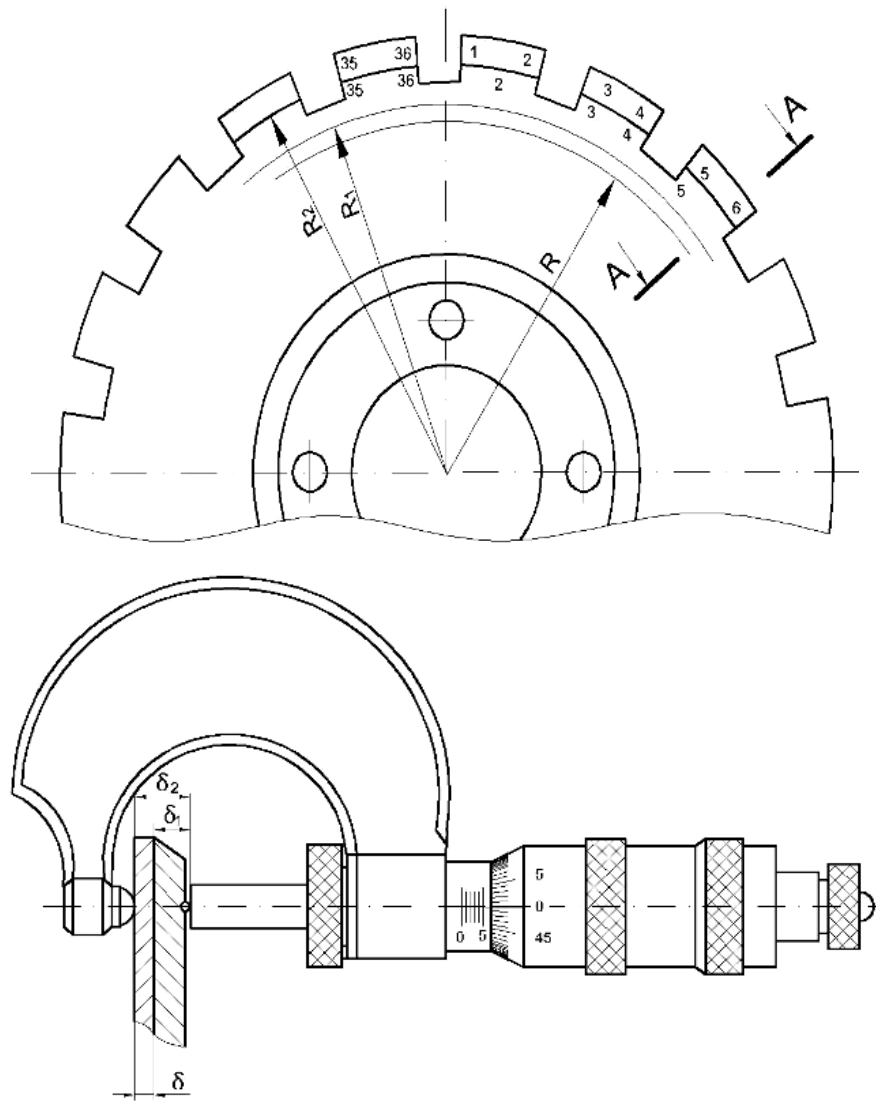
якщо $n \leq 100$, тоді $f = 1 + 3.322 \lg n$. В нашому випадку $n = 180$

Ширина інтервалу ΔL - це є різниця між максимальним і мінімальним значенням всередині інтервалу.

Маючи максимальне значення товщини наплавленого металу L_{\max} і мінімальне значення L_{\min} , визначаємо ширину інтервалу

$$\Delta L = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{\nu} = \frac{1.66 - 0.46}{12} = 0.1(\text{мм}),$$

де ν – кількість інтервалів встановлених для замірювання.



1 – основний метал; 2 – наплавлений метал; 3 – шарик

Рис. 5 - Ніж-гичкорізі: а) підготовлений для вимірювання товщини шару наплавленого металу і основного металу; б) переріз в зоні наплавлення А-А

Таблиця 2 - Розміри товщини шару наплавленого металу

№ з/п	Розмір, мм	№ з/п	Розмір, мм	№ з/п	Розмір, мм	№ з/п	Розмір, мм	№ з/п	Розмір, мм
1.	1,33	37.	0,80	73.	1,01	109.	1,15	145.	0,96
2.	1,31	38.	0,60	74.	0,93	110.	1,34	146.	0,97
3.	0,72	39.	0,98	75.	0,46	111.	0,63	147.	1,66
4.	0,46	40.	0,97	76.	0,86	112.	0,70	148.	1,28

5.	0,54	41.	0,70	77.	0,70	113.	0,96	149.	1,42
6.	0,81	42.	0,90	78.	0,85	114.	0,99	150.	1,25
7.	0,87	43.	1,02	79.	0,87	115.	0,70	151.	0,85
8.	0,80	44.	0,59	80.	0,97	116.	0,93	152.	0,64
9.	0,69	45.	0,71	81.	0,48	117.	0,63	153.	0,83
10.	0,89	46.	0,80	82.	0,83	118.	0,84	154.	0,66
11.	0,85	47.	1,17	83.	0,87	119.	1,07	155.	1,45
12.	0,57	48.	0,75	84.	1,23	120.	0,97	156.	1,30
13.	0,83	49.	1,21	85.	0,80	121.	0,53	157.	1,28
14.	1,04	50.	1,03	86.	0,97	122.	0,84	158.	1,32
15.	0,82	51.	1,02	87.	1,01	123.	0,90	159.	0,85
16.	0,82	52.	0,58	88.	0,99	124.	1,31	160.	0,86
17.	1,04	53.	0,97	89.	0,83	125.	0,94	161.	0,82
18.	1,01	54.	1,32	90.	0,80	126.	0,96	162.	1,03
19.	0,94	55.	1,21	91.	0,91	127.	1,23	163.	1,06
20.	0,99	56.	0,54	92.	0,88	128.	1,07	164.	1,04
21.	0,76	57.	0,52	93.	0,89	129.	1,22	165.	1,22
22.	0,94	58.	0,93	94.	0,64	130.	0,98	166.	1,36
23.	0,84	59.	0,94	95.	0,87	131.	1,02	167.	1,37
24.	1,22	60.	0,99	96.	0,83	132.	0,89	168.	1,39
25.	1,25	61.	1,21	97.	0,81	133.	0,60	169.	1,41
26.	0,97	62.	1,33	98.	0,85	134.	0,86	170.	1,40
27.	1,38	63.	0,94	99.	0,48	135.	0,92	171.	1,49
28.	1,48	64.	0,82	100.	0,53	136.	0,97	172.	1,21
29.	0,69	65.	0,99	101.	0,54	137.	1,00	173.	1,14
30.	0,88	66.	1,11	102.	0,87	138.	0,91	174.	1,25
31.	0,58	67.	0,83	103.	0,74	139.	0,52	175.	0,57
32.	0,95	68.	0,74	104.	0,88	140.	0,84	176.	1,10
33.	1,06	69.	1,22	105.	0,92	141.	1,20	177.	0,46

34.	0,89	70.	0,95	106.	1,04	142.	1,54	178.	0,80
35.	0,95	71.	0,68	107.	1,07	143.	1,31	179.	0,63
36.	1,23	72.	0,83	108.	0,98	144.	0,83	180.	0,48

Таблиця 3 - Інтервали розмірів L_i (в мм), абсолютна частота m_i

№ з/п	L_i від	L_i до	m_i
1	0,46	0,56	14
2	0,56	0,66	1
3	0,66	0,76	11
4	0,76	0,86	31
5	0,86	0,96	35
6	0,96	1,06	30
7	1,06	1,16	7
8	1,16	1,26	16
9	1,26	1,36	11
10	1,36	1,46	6
11	1,46	1,56	3
12	1,56	1,66	1
			$\sum m_i = 180$

На основі цих даних будується графік розсіювання фактичних розмірів рис.7.

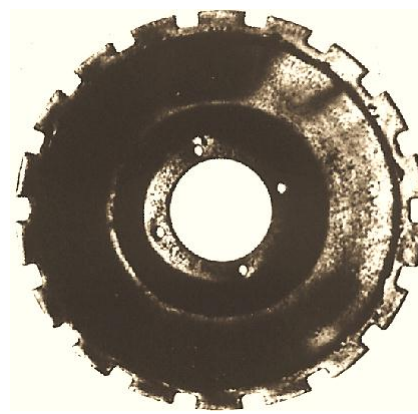
Отримані дані розміщуємо в таблицю 4, яка заповнюється по мірі проведення розрахунків.

Таблиця 4 - Результати розрахунків

№ з/п	Інтервали розмірів L_i	Абсолютна частота m_i	$L_i m_i$	$L_i - L_{сер} = x_i$	$(L_i - L_{сер})^2 \times 10^4$ $= x_i^2 \times 10^4$	$(L_i - L_{сер})^2 \times m_i \times 10^4$ $= x_i^2 m_i \times 10^4$
1	2	3	4	5	6	7
1.	0,46-0,56	14	7,14	-0,42	1764	24696
2.	0,56-0,66	15	9,15	-0,32	1024	15360
3.	0,66-0,76	11	7,81	-0,22	484	5324
4.	0,76-0,86	31	25,11	-0,12	144	4464
5.	0,86-0,96	35	31,85	-0,02	4	140
6.	0,96-1,06	30	30,30	0,08	64	1920
7.	1,06-1,16	7	7,77	0,18	324	2268
8.	1,16-1,26	16	19,36	0,28	784	12544
9.	1,26-1,36	11	14,41	0,38	1444	15884
10.	1,36-1,46	6	8,46	0,48	2304	13824
11.	1,46-1,56	3	4,53	0,58	3364	10092
12.	1,56-1,66	1	1,61	0,68	4624	4624
		180	167,50			111140



а)



б)

Рисунок 6 - Ніж-гичкоріз БМД 52425: а – до наплавлення; б – після наплавлення

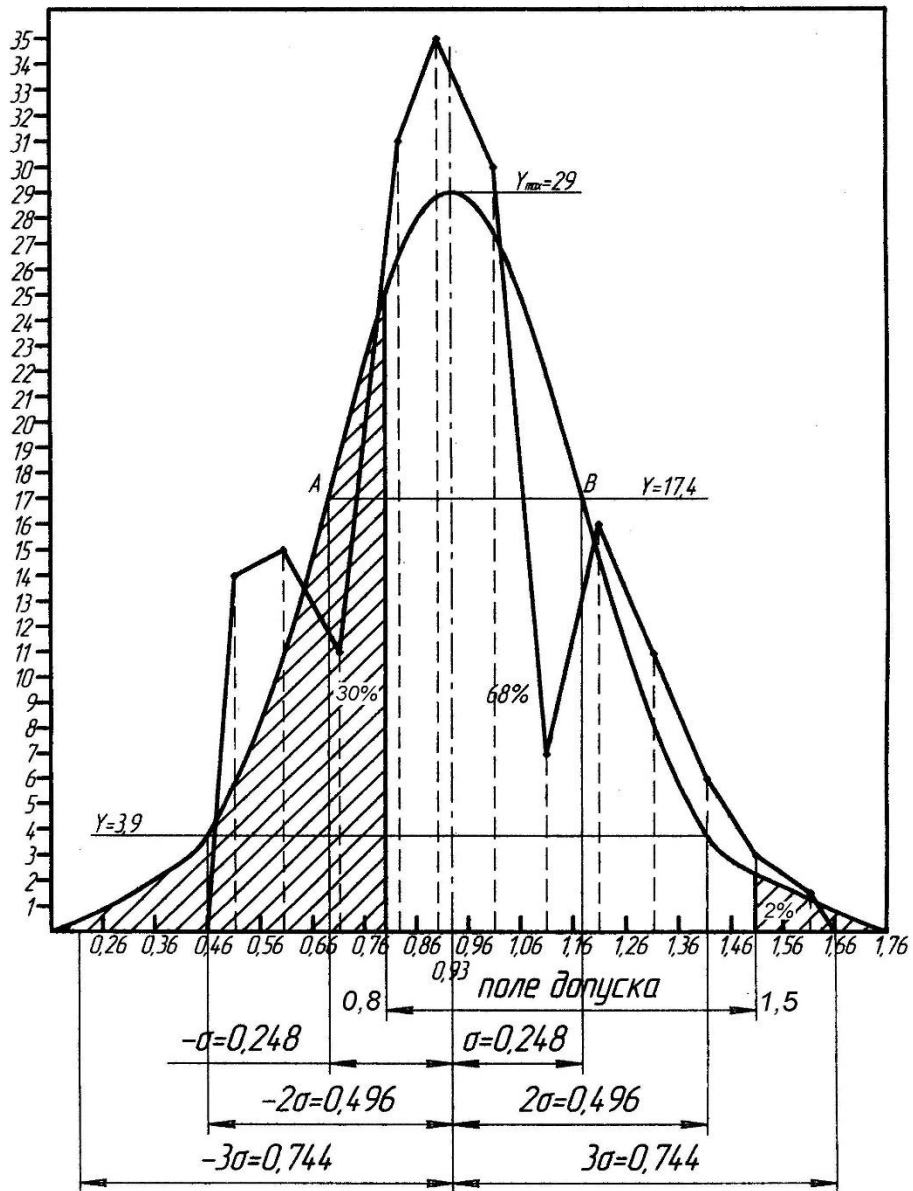


Рисунок 7 - Крива розсіювання фактичних розмірів і крива нормального розподілу

Потім визначається середній арифметичний розмір деталі $L_{сер}$ (формула 2), і середнє квадратичне відхилення σ (формула 3).

$$L_{сер} = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} L_i m_i}{n} = \frac{167.50}{180} = 0.93.$$

Наприклад для першого інтервалу:

$$L_i = \frac{0.46+0.56}{2} = 0.51 \text{ мм, тоді } L_i \cdot m_i = 0.51 \cdot 14 = 7.14.$$

Визначаємо для другого інтервалу:

$$L_i = \frac{0.56+0.66}{2} = 0.61;$$

$$L_i \cdot m_i = 0.61 \cdot 15 = 9.15,$$

і так для дванадцяти інтервалів.

В графу 5 табл. 4 записуємо різницю між середніми розмірами відповідних інтервалів і середнім арифметичним розміром:

$$(L_i - L_{\text{сер}}) = x_i;$$

для прикладу визначаємо перші два інтервали:

$$L_i - L_{\text{сер}} = x_1 = \frac{0.46+0.56}{2} - 0.93 = 0.51 - 0.93 = -0.42;$$

для другого інтервалу:

$$L_i - L_{\text{сер}} = x_2 = \frac{0.56+0.66}{2} - 0.93 = 0.61 - 0.93 = -0.32.$$

Потім підраховуються квадрати останніх величин, які множаться на 10^4 , і результати записуємо в графу 6 табл. 4:

$$(L_i - L_{\text{сер}})^2 \cdot 10^4;$$

$$(-0.42)^2 \cdot 10^4 = 1764; (-0.32)^2 \cdot 10^4 = 1024.$$

Після цього величини графи 6 множать на відповідні абсолютні частоти m_i і одержані результати записують в графу 7 табл. 4:

$$(L_i - L_{\text{сер}})^2 \cdot 10^4 \cdot m_i = x_i^2 \cdot m_i \cdot 10^4;$$

$$1764 \times 14 = 24696; 1024 \times 15 = 15360.$$

Середнє квадратичне відхилення дорівнює:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=K} x_i^2 m_i}{n \times 10^4}} = \sqrt{\frac{111140}{10^4 \times 180}} = 0.248.$$

Абсолютне поле розсіювання по фактичним вимірюванням:

$$\varepsilon = (L_{\max} - L_{\min}) = 1.66 - 0.46 = 1.2.$$

Для побудови кривої нормального розподілу визначаються наступні параметри (4'), (5'), (6'):

1) максимальна ордината /для $x=0$ /:

$$y_{\max} = 0.4 \frac{n\Delta L}{\sigma} = 0.4 \frac{180 \cdot 0.1}{0.248} = 29;$$

2) ордината для точок перегину /для $x = \pm\sigma$ /:

$$y_{\sigma} = 0.24 \frac{n\Delta L}{\sigma} = 0.24 \frac{180 \cdot 0.1}{0.248} = 17.4;$$

3) величина поля розсіювання:

$$x_{\max} = \pm 3\sigma = \pm 3 \times 0.248 = \pm 0.744 ;$$

$$y_{\sigma} = 0.054 \frac{n\Delta L}{\sigma} = 0.054 \frac{180 \cdot 0.1}{0.248} = 3.9;$$

$$2\sigma = 2 \cdot 0.248 = 0.496; 3\sigma = 3 \cdot 0.248 = \pm 0.744.$$

За цими даними будується крива нормального розподілу безпосередньо на графіку розсіювання фактичних розмірів (рис. 7).

На цьому ж графіку наноситься величина заданого поля допуску ($I^{+0.5}$) з визначеними розмірами 1,5 мм (верхній) і $I^{-0.2}$ -0,8 мм (нижній) межі поля допуску і через верхню і

нижню межі поля допуску проводять ординати до перетину з кривою нормального розподілу. Величина заштрихованої площі допуску, віднесена до всієї площі кривої нормального розподілу, визначає ймовірність одержання деталей в межах допуску.

Ймовірність одержання дефекту (в %) визначається:

1) для випадку зміщення центра поля розсіювання від середини поля допуску (по абсцисі).

Величина зміщення центра поля розсіювання визначається (за формулою 9):

$$\Delta L_{ц} = L_{сер} - \frac{L_B + L_H}{2} = 0.93 - \frac{1.5 + 0.8}{2} = -0.22$$

Значення аргументу Z для верхнього (Z_B) і нижнього (Z_H) граничних значень допуску дорівнює:

$$Z_B = \frac{L_B + L_{сер}}{\sigma} = \frac{1.5 - 0.93}{0.248} = 2.3$$

$$Z_H = \frac{L_H + L_{сер}}{\sigma} = \frac{0.8 - 0.93}{0.248} = -0.52$$

Ймовірність одержання дефекту τ' (в %) дорівнює:

по верхній межі допуску (+):

$$\begin{aligned} \tau'_B &= [0.5 - F(Z_B)] \cdot 100 = [0.5 - F(2.3)] \cdot 100 = \left[0.5 - F\left(\frac{0.9786}{2}\right) \right] \cdot 100 = \\ &= (0.5 - 0.48) \cdot 100 = 2\%; \end{aligned}$$

по нижній межі допуску (-):

$$\tau'_H = [0.5 - F(Z_H)] \cdot 100 = \left[0.5 - F\left(\frac{0.4}{2}\right) \right] \cdot 100 = (0.5 - 0.2) \cdot 100 = 30\%$$

В сумі дефект складає:

$$30+2=32\%.$$

Товщина шару наплавленого металу в межах поля допуску складає:

$$100-32=68\%.$$

Висновок. Розроблена методика дослідження товщини шару наплавленого металу, яка дозволяє досліджувати технологічний процес індукційного наплавлення тонких дисків в залежності від виду наплавлення (одночасне по всій робочій поверхні, неперервно – послідовне, та відцентрове) і тим самим порівнювати їх з метою вибору нагрівальних систем для вдосконалення процесу та визначення стабільності товщини шару наплавлюваного металу.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке випадкові похибки при дослідженні технологічних процесів?
2. Пояснити закон нормального розподілу і його застосування при обробці результатів експерименту?
3. Описати методику побудови кривої розсіювання фактичних розмірів при вимірюванні?
4. Як визначається середнє арифметичне $L_{сер}$ і середнє квадратичне σ відхилення при вимірюванні?
5. Описати методику вимірювання товщини шару наплавленого металу при індукційному наплавленні?

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

По закінченню роботи студент повинен оформити звіт, в якому необхідно відобразити наступні питання:

- провести розрахунки згідно пункту 3;
- побудувати графіки розподілу фактичних розмірів і криву нормального розподілу;
- побудувати точкову діаграму;
- зробити аналіз по проведеним розрахункам.

ЛІТЕРАТУРА

1. Егоров М.Е., Дементьев В.И., Дмитриев В.Л. Технология машиностроения. – М.: Высшая школа, 1976. – 240 с.
2. Кован В.М., Корсаков В.С. Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1965. – 180 с.
3. Колкер Я.Д. математический анализ точности механической обработки деталей. К.: "Техника", 1984. – 200 с.
4. Барабашук В.И., Креденцер Б.П., Мирошниченко В.И. Планирование эксперимента в технике. – К.: "Техніка", 1984. – 200 с.
5. Шенк Х. Технология инженерного эксперимента. – М.: Мир, 1972.
6. Пулька Ч.В. Влияние вибрации на структуру и свойства металла наплавленного индукционным методом / Пулька Ч.В., Шаблій О.Н., Сенчишин В.С., Шарик М.В., Гордань Г.Н. // Автомат. сварка №1, 2012. - С. 27-29.

7. Пулька Ч.В. Влияние технологических схем индукционной наплавки на стабильность толщины слоя наплавленного металла / Пулька Ч.В., Сенчишин В.С., Гаврилюк В.Я., Базар М.С. // Автомат. сварка №4, -2013. с. 65-67.
8. Пулька Ч.В. Пути совершенствования технологии индукционной наплавки тонких стальных дисков / Пулька Ч.В., О.Н.Шаблей, В.Н. Барановский, В.С. Сенчишин, В.Я. Гаврилюк. //Автомат. Сварка №5-6,-2015.-с.64-67.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ДУГОВОГО МЕХАНІЗОВАНОГО НАПЛАВЛЕННЯ

Мета: ознайомитися та практично засвоїти методику розрахунку параметрів режиму при дуговому механізованому наплавленні.

Задачі:

- 1) вивчити параметри режиму дугового механізованого наплавлення;
- 2) зробити аналіз зв'язку, між собою, параметрів режиму дугового механізованого наплавлення

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Режими наплавлення прийнято оцінювати за двома узагальнюючими критеріями подібності: відносній товщині шару, що наплавляється Z_h (відношення товщини шару, що наплавляється до діаметра дроту $Z_h=h/d_e$) і коефіцієнту форми поперечного перерізу валиків, що наплавляються $\psi_B = B/h_B$.

В базовому розрахунковому методі товщина шару, що наплавляється забезпечується швидкістю наплавлення, яка визначається з рівняння, в основу якого покладено положення рівності об'ємів металу, яка наплавляється й витрати наплавлюваного електродного дроту з урахуванням вигорання й неповноти формування шару:

$$F_B v_H = F_{np} v_d \cdot K \cdot A, \quad (1)$$

де F_{np} – площа перерізу електродного дроту, мм²; K – коефіцієнт, який враховує витрати металу на вигорання й бризки (коефіцієнт переходу металу на поверхню, що наплавляється) (табл. 1); A - коефіцієнт неповноти шару, який наплавляється (табл. 1).

Після перетворення рівняння (1) отримуємо вираз для визначення швидкості наплавлення :

$$V_H = \frac{0.785 d_e^2 v_d K A}{F_B} = \frac{0.785 d_e^2 v_d K A}{S_H h} \quad (2)$$

де S_H – крок наплавлення, мм/об ; v_d – швидкість подавання дроту, м/хв.

При розрахунку швидкості наплавлення за формулою (2) швидкість подавання дроту, що наплавляється визначається за формулою:

$$v_d = \frac{\alpha_H I_{зв}}{0,785 d_e^2 \gamma 60} \quad (3)$$

де α_H – коефіцієнт наплавлення, г/А×год; $I_{зв}$ – зварювальний струм, А; γ - густина матеріалу, що наплавляється, г/см³.

Крок наплавлення визначається через параметр наплавлювального електродного дроту з наступного співвідношення:

$$S_H = (2 \div 2.5) d_e \quad (4)$$

Також, крок наплавлення можна знайти за формулою:

$$S_H = \psi_B K_B h_B \quad (5)$$

де K_B - коефіцієнт частини валика, що не перекривається ($K_B = 0,6 \div 0,8$).

Коефіцієнт форми поперечного перерізу валика ψ_B можна визначити за напівемпіричною формулою:

$$\psi_B = 2 + 2 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha_H I_{36} \frac{\exp(2z_h^{-1})}{z_h} \quad (6)$$

Зварювальний струм можна знайти за формулою:

$$I_{36} = 0.785 d_e^2 D_A \quad (7)$$

де D_A - густина струму, А/мм².

Коефіцієнт наплавлення α_H та густину струму D_A можна визначити (в залежності від способу наплавлення) за розрахунковими рівняннями, що наведені в табл.2.

Напруга на дузі при наплавленні на м'яких режимах приймаємо мінімальним з умови забезпечення стабільності дуги.

Таким чином, напруження на дузі можна знайти за напівемпіричною формулою:

$$U_\delta = U_0 + 0.003 I_{36} (1 + \exp(2Z_h^{-1})) \quad (8)$$

де U_0 – мінімальна напруга, що забезпечує стабільність дуги при механізованому наплавленні.

Мінімальну напругу можна знайти за емпіричною формулою:

$$U_0 = 3.65 I_{36}^{0.37} \quad (9)$$

Частоту обертання деталі при наплавленні визначаємо наступним чином:

$$n_{\partial} = \frac{1000v_H}{\pi D_{\partial}} \quad (10)$$

де D_{∂} - діаметр деталі, мм.

Машинний час наплавлення (для тіл обертання) однієї поверхні визначається за формулою:

$$t_0 = \frac{L_H i}{n_{\partial} S_H} \quad (11)$$

де L_H – довжина поверхні, що наплавляється, мм; i – число шарів.

Приклад.

Вихідні дані. Необхідно розрахувати оптимальний режим при наплавленні під шаром флюсу циліндричної поверхні кореневої шийки колінчастого валу діаметром 95 мм, шириною – 35 мм. Товщина шару, що наплавляється повинна бути не меншою за 2,5 мм.

Розв'язок задачі. Параметр подібності для м'якого режиму $Z_h = h/d_e \geq 1,5$. Тоді розрахунковий діаметр дроту для наплавлення $d_e = h/Z_h \approx 1,67$. Виходячи із цього діаметр дроту, що наплавляється $d_e = 1,6 \div 1,8$ мм. Приймаємо $d_e = 1,8$ мм. Корегуємо значення параметра $Z_h = h/d_e = 1,39$.

1. Знаходимо струм дуги за формулою (7) $I_{зв} = 190$ А. $D_A = 76$ А/мм².
2. Визначимо напругу на дузі за формулою (8): $U_{\partial} = 28$ В.

3. За формулою (3) визначимо швидкість подавання дроту, що наплавляється:

$v_d = 2,06$ м/хв (значення α_H знаходимо за рівнянням, що наведене в табл.1).

4. За формулою (2) визначаємо швидкість наплавлення: $v_H = 0,58$ м/хв.

Крок наплавлення за співвідношенням (4) $S_H = 3,6 \div 4,5$ мм/об. Для співставлення проводимо розрахунок кроку наплавлення також й за рівнянням (5): $S_H = 4,5$ мм/об (коефіцієнт форми перерізу валика розраховуємо за формулою (6) $\psi_B = 3,1$).

5. Визначаємо частоту обертання деталі при наплавленні за формулою (10): $n_d = 1,9$ об/хв.

6. Машинний час наплавлення однієї поверхні (11): $t_0 = 5,1$ хв.

Для механізованого дугового наплавлення зазвичай використовують дріт суцільного перерізу згідно ДСТУ 3671-97 (ГОСТ 10543-98).

Вуглецеві наплавлювальні дроти (Нп-30, Нп-40, Нп-50 і т. д.) застосовуються в основному для відновлення розмірів зношених деталей. Для наплавлення інструменту гарячої деформації металу використовують дроти Нп-45х4В3Ф, Нп-45Х2В8Т, Нп-60Х3В10Ф. Дроти Нп-40Х3Г2М і Нп-40Х3Г2МФ рекомендуються для наплавлення деталей, що працюють в умовах абразивного зношування з ударами. Для антикорозійного наплавлення рекомендуються дроти Св-

08X19H10Г2Б, Св-04X19H11МЗ, Св-07Х25Н13, Св-10Х16Н25АМ6.

Послідовність виконання роботи

1. Ознайомитись із теоретичними відомостями.
2. Розрахувати оптимальні параметри режиму механізованого дугового наплавлення. Вихідні дані взяти з табл.1, 2.

Таблиця 1. До виконання практичного заняття № 5

Спосіб наплавлення	Коефіцієнт враховуючий витрати металу на вигорання й бризки (K)	Коефіцієнт неповноти шару, що наплавляється (A)	Розрахункова формула
Під флюсом	0,90-0,986	0,986-0,99	$\alpha_H=3+5,5d_e$ $D_A=148-40d_e$
В вуглекислому газі	0,82-0,90	0,88-0,96	$\alpha_H=7+4,0d_e$ $D_A=140-25d_e$
Вібродугове	0,73-0,82	0,79-0,95	$\alpha_H=4,5+2,5d_e$ $D_A=100-15d_e$

Таблиця 2. До виконання практичного заняття № 5

№ вар.	Спосіб наплавлення	Деталь, що наплавляється	Умови роботи	Товщина матеріалу, що необхідно наплавити (h_n), мм	Довжина поверхні, що наплавляється (L_n), мм	Діаметр деталі (D_d), мм
1-3.	Під флюсом	Зуб ковша екскаватора	Ударноабразивне зношування	3,0 4,0 5,0	40 50 60	-
4-6.	В вуглекислому газі	Вал	Тертя металу об метал при наявності мастила	1,0 2,0 3,0	50 55 60	60 70 80
7-9.	Вібродугове	Шийки колінчастого валу	Гідроабразивне зношування	1,0 2,0 3,0	40 45 50	80 90 100
10-12.	Під флюсом	Прокатний валок гарячої прокатки	Термічна втома, тепловміни	3,0 4,0 5,0	20 30 40	40 46 48
13-16.	Під флюсом	Вал	Тертя металу об метал при наявності мастила	3,0 4,0 5,0 5,0	80 90 100 110	50 60 70 80

ЛІТЕРАТУРА

1. Кузнецов В.Д. Методичні вказівки до виконання практичних робіт для студентів напрямку 6,050504 «Зварювання» Кузнецов

В.Д., Степанов Д.В. – К:ІВЦ «Видавництво «Політехніка»,
2012,-27с.

2. Ющенко К. А., Борисов Ю. С., Кузнецов В. Д., Корж В. М.
Інженерія поверхні. К.: Наукова думка, 2007. – 558 с.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6
ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ДУГОВОГО
МЕХАНІЗОВАНОГО НАПЛАВЛЕННЯ НА
ТЕМПЕРАТУРНІ ПОЛЯ БІЛЯ ШОВНОЇ ЗОНИ

Мета: вивчити та практично засвоїти вплив параметрів процесу на термічні цикли при дуговому механізованому наплавленні

Задачі:

- 1) побудувати ізотерми, ізохори та ізотермічні лінії при змінних параметрах процесу;
- 2) встановити закономірності впливу параметрів процесу на температурне поле біля шовної зони;
- 3) вибрати оптимальні параметри процесу наплавлення

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Температурне поле описує рівняння:

$$\Delta T = \frac{q}{2\pi\lambda Vt} \exp\left(-\frac{R^2}{4at}\right) \quad (1)$$

де R – радіус вектор точки тіла, для якої знаходять температуру відносно джерела тепла: $R^2 = y^2 + z^2$; q – ефективна теплова потужність джерела тепла: $q = \eta I_{\delta} U_{\delta}$, де η – ефективний коефіцієнт корисної дії дуги; I_{δ} – струм дуги; U_{δ} – напруга на дузі; V – швидкість наплавлення; λ – коефіцієнт теплопровідності; a – коефіцієнт

температуропровідності; t – час, відлік якого здійснюється з моменту, коли дуга проходить перетин, де знаходиться точка, для якої визначається температура.

Згідно (1) бачимо, що за зазначеною схемою можна розрахувати температури лише ззаду джерела зварювального нагрівання ($t > 0$).

Термічні цикли $T=f(t)$ (ізотерми) описуються аналітично. Наприклад, для точок, розміщених на поверхні тіла: $z=0$; тоді $R^2 = y^2$ і приріст температури визначаємо з виразу :

$$\Delta T = \frac{q}{2\pi\lambda Vt} \exp\left(-\frac{y^2}{4at}\right) \quad (2)$$

Ізохори $T=f(x)$ у площині XOZ (у повздовжньому напрямку, вздовж осі руху джерела тепла) на різних відстанях від осі шва $y_1, y_2, \dots, y_n = \text{const}$ будують, користуючись таким самим рівнянням температурного поля ПШТД, тільки вісь OX відновлюється штучно із залежності $|-x| = Vt$.

Враховуючи, що $|-x| = Vt$, після логарифмування та перетворень отримуємо рівняння ізотерми:

$$y = \pm \sqrt{4a \frac{|-x|}{V} \left(\ln \frac{q}{2\pi\lambda |-x|} - \ln \Delta T \right)} \quad (3)$$

У наведеному рівнянні (3) можливі два випадки (якщо $y = 0$, то саме вони визначають крайні точки ізотерми по осі OX):

- 1) якщо $x = 0$ (це початок координат);

2) якщо $\ln \frac{q}{2\pi\lambda x} = \ln \Delta T$, звідси $x = \frac{q}{2\pi\lambda\Delta T}$ - це крайня точка ізотерми по осі OX , ($-x_{\max}$), вона означає найбільшу довжину ізотерми в поздовжньому напрямі.

Простота та наочність рівняння температурного поля за схемою ПШТД дає змогу визначити багато параметрів аналітично, що значно спрощує задачу їх визначення та позбавляє потреби в копітких обчисленнях і (або) графічних побудовах.

Для практичних застосувань використовують такі залежності:

- максимальну температуру термічного циклу

$$T_{\max} = \frac{2q}{\pi e V_{\text{ср}} R^2} + T_0 \quad , \quad (4)$$

де e - число Непера (основа натуральних логарифмів); $V_{\text{ср}}$ - об'ємна теплоємність;

- довжину зварювальної ванни визначаємо з виразу:

$$L = \frac{q}{2\pi\lambda(T_{\text{нл}} - T_0)} \quad (5)$$

- ширину зварювальної ванни визначаємо з виразу:

$$B = \sqrt{\frac{8q}{\pi e V_{\text{ср}}(T_{\text{нл}} - T_0)}} \quad (6)$$

- час існування:

$$i_{\text{ичн}} = \frac{q}{2\pi V(T_{\text{нл}} - T_0)} \quad (7)$$

- глибину проплавлення:

$$h_{np} = \sqrt{\frac{2q}{\pi e V_{cp}(T_{nl} - T_0)}} \quad (8)$$

- площу проплавлення

$$F_{np} = \frac{q}{e V_{cp}(T_{nl} - T_0)} \quad (9)$$

Послідовність виконання роботи

1. Ознайомитись із теоретичними відомостями.
2. Побудувати ізотерми $T=f(t)$, ізохори $T=f(x)$, ізотермічні поверхні при різних параметрах процесу наплавлення. Вихідні дані для розрахунків наведені в табл. 1, 2 (додатки).
3. Розрахувати параметри процесу за рівняннями 5-9.
4. Побудувати графіки $L=f(q)$, $B=f(q,V)$, $h_{np}=f(q,V)$, $F_{np}=f(q,V)$ та зробити їх аналіз.
5. Встановити оптимальні режими наплавлення.

Таблиця 1. До виконання практичного заняття № 6

№ з/п	Спосіб наплавлення	Діаметр електродного дроту, мм	Струм, А	Напруга на дузі, В	Швидкість наплавлення, м/год	Ефективний коефіцієнт корисної дії	Відстань від осі шва, мм	
1.	Напівавтоматичне в захисних газах (CO ₂)	0,8-1,0	95...	19	25...30	0,7	1	
2.			100	19,5	37...42			
3.			110...	20	50...55			
4.		1,2	120...	20	25...30		2	
5.			130	20,5	35...40			
6.				21	45...50			
7.		1,4	130...	140	22		25...30	3
8.			140...	23	37...42			
9.			150	24	40...45			

			150... 160				
			200... 210				
			250... 260				
			300... 310				
10.	Автоматичне під флюсом	2	300...	28	15...20	0,9	1
11.			320	31	38...42		
12.			350... 370	34	60...65		
13.		3	400...	30	15...20		2
14.			420	32	30...35		
15.				34	45...50		
16.		4	300...	36	45...50		3
			320				
			400...				
			420				
			500...				
			520				
	600...						
			620				

Таблиця 2. До виконання практичного заняття № 6

Коефіцієнт теплопровідності, Дж/(м*К)	Коефіцієнт температуропровідності, м ² /(сек)	Об`ємна теплоємність, Дж/(м ³ *К)	Температура плавлення, К
48	$8,7 \cdot 10^{-6}$	$4,8 \cdot 10^6$	1758

ЛІТЕРАТУРА

1. Кузнецов В.Д. Методичні вказівки до виконання практичних робіт для студентів напрямку 6,050504 «Зварювання» Кузнецов В.Д., Степанов Д.В. – К:ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2012,-27с.
2. Ющенко К. А., Борисов Ю. С., Кузнецов В. Д., Корж В. М. Інженерія поверхні. К.: Наукова думка, 2007. – 558 с.