

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ
УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“Київський політехнічний інститут”**

**НАПЛАВЛЕННЯ ТА НАПИЛЕННЯ – 1. ОСНОВИ
НАПЛАВЛЕННЯ**

Методичні вказівки

до виконання практичних робіт

для студентів напрямку 6.050504 «**Зварювання**»

Затверджено методичною радою ЗФ НТУУ «КПІ»

Київ

2012

Наплавлення та напилення – 1. Основи наплавлення. Методичні вказівки до виконання практичних робіт для студентів напрямку 6.050504 «Зварювання» / Уклад.: В. Д. Кузнецов, Д.В. Степанов – К: КПІ, 2012. – 27с.

*Гриф надано Методичною радою ЗФ НТУУ «КПІ»
(Протокол № 6 від 30.01. 2012р.)*

Навчальне видання

НАПЛАВЛЕННЯ ТА НАПИЛЕННЯ – 1 ОСНОВИ НАПЛАВЛЕННЯ

Методичні вказівки
до виконання практичних робіт
для студентів напрямку 6.050504 «Зварювання»

Укладачі: *Валерій Дмитрович Кузнецов, д-р техн..наук, проф..
Денис Володимирович Степанов, асистент*

Відповідальний

редактор

В.Д. Кузнецов, д-р техн..наук, проф..

Рецензент

Р.М.Рижов д-р, техн..наук, проф..

ЗМІСТ

Вступ	4
Практична робота №1	
Практичне вимірювання твердості.....	5
Практична робота №2	
Розрахунки вуглецевого еквіваленту і температур попереднього підігріву	10
Практична робота №3	
Розрахунок шихти порошкового дроту	15
Література.....	27

ВСТУП

Дисципліна «Напилення та наплавлення – 1. Основи 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. 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 три практичні роботи, які присвячені тематиці курсу.

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 напавленні. Робота №3 присвячена розрахунку шихти порошкового дроту.

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

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

ПРАКТИЧНЕ ВИМІРЮВАННЯ ТВЕРДОСТІ НАПЛАВЛЕНОГО ШАРУ

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 1.1

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 1.1

Інтервал твердості НВ	Подвоєний радіус кривизни сферичного наконечника або діаметр кульки мм, не менше	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 стальна (твердосплавна) 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 (див. рис. 1.1)

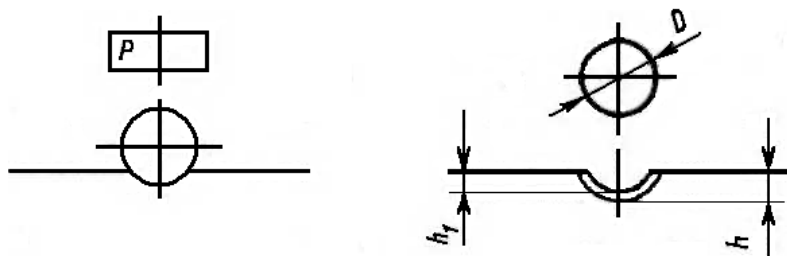


Рисунок 1.1 Схема втискування кулькового індентора при вимірюванні твердості

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 повинно 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, її можна розрахувати за допомогою знань про діаметр відбитку. Для цього

використовують наступну залежність:

$$h = R - \sqrt{R^2 - \frac{d^2}{4}}, \quad (1.1)$$

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

Число пластичної твердості (НВ) обчислюють по формулі

$$HB = \frac{P - P_1}{\pi D(h - h_1)}, \quad (1.2)$$

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 1.1 розрахувати глибини відбитків зроблених при навантаженнях P_1, P .
6. За допомогою формули 1.2 розрахувати твердість наплавленого металу.
7. Виміряні дані занести в таблицю 1.2.
8. Повторити пп. 2-6 при визначенні твердості основного металу, та швів покладених іншими матеріалами.
9. Порівняти твердості основного металу, та металів, накладених різ-

ними електродами.

10. Зробити висновки.

Таблиця 1.2

№ п/п	Метал, що вимірюється	P_1	P	d_1	d	h_1	h	НВ
1								
2								
...								
n								

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?

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:

$$C_{екв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (2.1)$$

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:

$$C_{екв} = [C]_x + [C]_p \quad (2.2)$$

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

$$360 [C]_x = 360C + 40(Mn+Cr) + 20Ni + 28Mo \quad (2.3)$$

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

$$[C]_p = 0.005 S [C]_x \quad (2.4)$$

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:

$$P_{утв} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn + Cu + Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B + \frac{S}{600} + \frac{H}{60} \quad (2.5)$$

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:

$$C_{екв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} \quad (2.6)$$

Максимальна твердість визначається за виразом

$$H_{max} = 660 C_{екв} \pm 40 \quad (2.7)$$

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 пришовної зони. Для цього випадку існують рекомендації щодо вибору температур підігрівання залежно від твердості пришовної зони (тобто твердості

основного металу).

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

$$T_{nid} = 350\sqrt{C_{екв} - 0.25} \quad (2.8)$$

Формула, запропонована японськими вченими:

$$T_{nid} = 1440P_{утв} - 392 \quad (2.9)$$

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

На основі практичного досліду та за результатами значень твердості рекомендовано температури, наведені в табл. 2.1

Таблиця 2.1 - Значення температур підігрівання залежно від твердості металу

Твердість, HV	Температура підігрівання, °C
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 2.1, 2.2, 2.5, 2.6.
- 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 2.2 - Індивідуальні варіанти

№ варіанта	Марки сталей				
	Сталь конструкційна, вуглецева якісна	Сталь конструкційна низьколегована для зварних конструкцій	Сталь конструкційна, легована	Сталь інструментальна штампова	Сталі та сплави корозійно-стійкі, 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	08Х17Г
11	30	14Г2АФ	20Г	4ХМФС	95Х18
12	35	16Г2АФ	30Г	4Х5МФ1С	08Х18Т1
13	40	18Г2АФпс	40Г	4Х5МФС	15Х25Г
14	45	14ХГС	45Г	3Х3М3Ф	15Х28
15	50	15Г2АФДпс	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 2.3 - Хімічний склад сталей, що використовуються при практичній роботі

№ варі- анта	Марка сталі	C	Mn	Si	Cr	S	P	Cu	Ni	As	V	Mo	W	Nb	Ti
1															
2															
...															
n															

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?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

РОЗРАХУНОК ШИХТИ ПОРОШКОВОГО ДРОТУ

МЕТА РОБОТИ: 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 багатократним 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 порошоків вельми складний. Порошковий дріт маркується буквами ПП з вказівкою 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 здобуття порошкового дроту заданого складу.

Для того, щоб одержати наплавлений метал, що відповідає по хімічному складу якійсь сталі, необхідно у склад дроту ввести трохи більшу кількість легуючих домішків, оскільки в дузі відбувається їх окислення. Так,

наплавлений шар дротом ПП-3Х2В8 мас, 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 приходить 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. 3.1

Таблиця 3.1 - 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 приходилось 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 2.1:

$$m_e = \frac{m_{\text{мат}} \times \%e}{100} \quad (3.1)$$

де m_e , г – маса елемента, що вноситься матеріалом, $m_{\text{мат}}$, 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 2.1 та згідно з формулою 2.1 отримуємо:

$$m_{\text{CСтр}} = \frac{65.0 \times 0.11}{100} = 0.07 \text{ г}$$

$$m_{\text{MnСтр}} = \frac{65.0 \times 0.42}{100} = 0.27 \text{ г}$$

$$m_{\text{SiСтр}} = \frac{65.0 \times 0.02}{100} = 0.01 \text{ г}$$

$$m_{\text{SСтр}} = \frac{65.0 \times 0.038}{100} = 0.025 \text{ г}$$

де, $m_{\text{CСтр}}$, $m_{\text{MnСтр}}$, $m_{\text{SiСтр}}$, $m_{\text{SСтр}}$ – 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. 3.1):

$$m_{\text{B2}} = \frac{m_{\text{WB2}} \times 100}{\%_{\text{WB2}}} \quad (3.2)$$

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

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

Використовуючи хімічний склад феровольфраму знайдемо масу домішок внесених феровольфрамом:

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

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

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

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

Аналогічно проводимо розрахунок кількості ферохрому, необхідного для внесення 2.8 г 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.

$$m_{\Sigma Mn} = m_{MnСтр} + m_{MnB2} + \dots + m_{MnBд1} \quad (3.3)$$

де, $m_{\Sigma Mn}$ – сумарна маса марганцю, уже внесеного різними матеріалами, $m_{MnСтр}$, m_{MnB2} , $m_{MnBд1}$ – маса марганцю внесеного стрічкою, феровольфрамом, ферованадієм, та іншими матеріалами, які уже внесені.

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

$$m_{MnДод} = m_{ПП-3Х2В8} - m_{\Sigma Mn} \quad (3.4)$$

де, $m_{MnДод}$ – маса марганцю, який необхідно внести додатково, $m_{ПП-3Х2В8}$ – масова частка марганцю в дроті.

Використавши дані таблиці 3.1, та формули 3.1, 3.2 та 3.3 знайдемо, що ми вже внесли 0.32 г марганцю.

Згідно з формулою 2.4 залишається внести: $1.53 - 0.32 = 1.21$ г марганцю.

Марганець буде внесено з феромарганцем, згідно з формулою (3.2) 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 3.1.

По аналогії з формулою 2.3 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 2.2 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 35 г. 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 2.1 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. 3.2, 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 3.2 - Розрахований сумарний хімічний склад порошкового дроту для наплавлення сталі 3Х2В8

Матеріал	Кількість матеріалу, г	Домішки, г							Шихта, %
		С	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-3X4B3Ф	0.25	4	0.6	0.6	-	3.5	0.6	-	0.2	-
16	ПП-X12BФ	2.4	15	0.6	0.4	-	1.3	0.3	-	-	-
17	ПП-Y15X17H2	2	20	0.8	0.7	2	-	-	-	-	-
18	ПП-X10B14	4	10	0.4	0.4	-	14.5	-	-	-	-
19	ПП-P18	1.1	4.3	0.4	0.4	-	19	1.5	-	-	-
20	ПП-Г13А	1.2	-	15.3	0.5	-	-	-	-	-	-
21	ПП-4X2B8T	0.5	3	1	0.3	-	10	0.35	-	1	-
22	ПП-Y45X25Г6T	5.3	25	7	0.9	-	-	-	-	1	-
23	ПП-P18T	0.3	4.7	0.4	0.5	-	20	1.4	-	1	-
24	ПП-X12BФT	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
СМn20	65	20-25.9	1	0.1	0,25	0,03
СМn17	65	17-19.9	1.7	0.1	0,25	0,03
СМn14	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
Мр0	99.7	-	0.01	-	0.1	0.1
Мр1	95	0.8	0.05	2.5	0.1	-

Таблиця 20 - Кремній кристалічний

Марка	Si	Fe	Al	Ca
Кр1	98	0.7	0.7	0.6
Кр2	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	залізо	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. *К.А. Ющенко, Ю.С. Борисов, В.Д. Кузнецов, В.М. Корж* Інженерія поверхні. Підручник. – К.: НВП «Наукова думка» НАН України, 2007. – 558 с.
2. *И.И. Фрумин* Автоматическая электродуговая наладка. – Харьков. Metallurgizdat, 1961. – 422 с.
3. *И.И. Фрумин, Е.И. Лейначук, Ю.А. Юзвенко, М.М. Нероденко* Основы технологии механизированной наплавки. – Москва. Профтехиздат, 1961. – 304 с.
4. *Металлы. Метод измерения пластической твердости ГОСТ 18835-73.* – Москва. Государственный комитет стандартов совета министров СССР. – 1973. -9 с.