

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичної роботи № 1

«Вивчення методики розрахунку складу шихти порошкового дроту» з дисципліни «Ремонт машин» для студентів освітньої програми «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» всіх форм навчання

2018

Методичні вказівки до виконання практичної роботи № 1
«Вивчення методики розрахунку складу шихти порошкового дроту» з
дисципліни «Ремонт машин» для студентів освітньої програми
«Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій»
всіх форм навчання / Укл.: Ю.М. Савонов, О.Є. Капустян –
Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. - 14 с.

Укладачі: Ю.М. Савонов, канд. техн. наук, доцент

О.Є. Капустян, старш. викл.;

Рецензент: М.І. Андрущенко, канд. техн. наук, доцент

Редактор: І.П. Аверченко

Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено

на засіданні кафедри ОТЗВ

Протокол № 11 від 04.06.2018

Рекомендовано до видання

НМК ІФФ

Протокол № 10 від 19.06.2018

ЗМІСТ

1 МЕТА РОБОТИ	4
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	4
3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ.....	7
4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	7
5 ЗМІСТ ЗВІТУ	7
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	7
Додаток А Марки порошкових дротів для розрахунку	8
Додаток Б Приклад розрахунку складу шихти порошкового дроту	9
Додаток Б Хімічний склад феросплавів	13

1 МЕТА РОБОТИ

Вивчити і засвоїти методику розрахунку складу шихти порошкового дроту.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Наявність в сучасному виробництві великої кількості деталей, що працюють в різних умовах експлуатації і відмінних за технологією і матеріалом виготовлення, викликає необхідність розробки нових складів порошкового дроту для відновлення і зміцнення деталей електродуговим наплавленням.

При виготовленні порошкового дроту для наплавлення зносостійких матеріалів на основі заліза частіше всього використовують сталеву стрічку холодного прокату марки 08кп або 10кп товщиною від 0,2 мм до 1,0 мм і шириною від 8 мм до 20 мм. Як шихту використовують феросплави (феровольфрам, ферохром, феромарганець, ферованадій та ін.), залізний порошок, графіт, кремнефтористий натрій та інші матеріали.

При напавленні порошковий дріт розплавлюється і компоненти шихти потрапляють в зварювальну ванну, забезпечуючи отримання наплавленого металу з вмістом легуючих елементів до 30-35 %.

Газо- і шлакоутворюючі матеріали шихти дроту при його плавленні забезпечують захист металу від кисню і азоту повітря.

Властивості наплавленого металу, в більшості, залежать не тільки від розробки оптимального технологічного процесу, але й від правильного розрахунку складу порошкового дроту.

При розрахунку шихти за методикою Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона вагова кількість компонентів на 100 г порошкового дроту визначається за формулами:

$$c = \frac{a \cdot 100}{b}, \quad d = \frac{c \cdot b}{100} \quad (2.1)$$

де a - кількість елемента в розраховуємому дроті, г;

b – вміст елементу в даному компоненті, %;

c - кількість компоненту, що введено в 100 г дроту;

d - кількість супровідного елементу, що введено в 100 г дроту даним компонентом або стрічкою, г.

Спочатку розраховують компоненти, які одноразово вводять даний елемент в дріт, а потім інші компоненти з урахуванням раніше введеного елементу. При цьому як розрахований, так і фактичний склад порошкового дроту залежить від вибраного коефіцієнту заповнення K_3 , яким задаються при розрахунку. При виготовленні порошкового дроту багаторазово уточнюють склад дроту з подальшим волочінням з метою визначення дійсного коефіцієнту заповнення.

За методикою Уральського політехнічного інституту коефіцієнт заповнення K_3 визначають заздалегідь розрахунковим шляхом:

$$K_3 = \frac{1 - \frac{F_o \cdot K_B \cdot \gamma_o}{F_{ш} \cdot 100} \left(\sum V_K - \frac{\sum P_K}{\gamma_3} \right)}{1 + K_B \frac{F_o \cdot \gamma_o}{F_{ш} \cdot \gamma_3}}, \quad (2.2)$$

де F_o - перетин оболонки, мм²;

$F_{ш}$ - перетин, що займає шихта, мм²;

K_B - коефіцієнт заглиблення при вільній шихті; для компонентів, що звичайно застосовуються при виготовленні порошкових дротів дорівнює 0,8–1,0;

$\sum V_K$ - сумарний об'єм, що займають компоненти в 100 г дроту, що розраховується:

$$\sum V_K = \frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{P_2}{\gamma_2} + \dots + \frac{P_n}{\gamma_n}, \quad (2.3)$$

де P_1, P_2, P_n - вага компонентів, які розраховуються, г;

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_n$ - насипна вага компонентів, г/см³, що вибирається з табл. 2.1 [2];

Значення $F_o / F_{ш}$ знаходиться для даного розміру стрічки при умові вільного її звертання по табл. 2.2 [2].

У зв'язку з тим, що при наплавленні мають місце втрати легуючих елементів внаслідок вигорання, випаровування і переходу в шлакову коринку, в порошковому дроті кількість їх повинна відповідати формулі:

$$C_{ш} = K_{п} \cdot C_{п}, \quad (2.4)$$

де $C_{ш}$ - вміст елемента в шві;

$K_{п}$ - коефіцієнт переходу легуючого елемента з електродного дроту в метал шва при даному способі наплавлення (табл. 2.3);

$C_{п}$ – кількість елемента в порошковому дроті.

Таблиця 2.1 - Грануляція та насипна вага порошкових матеріалів

Параметр	FeW	FeV	FeCr	FeSi	FeTi	FeMn	FeCrMn
Грануляція, мм	0,16	0,40	0,16	0,16	0,315	0,16	0,16
Насипна вага, г/см ³	6,38	3,45	4,05	1,2	3,69	3,39	3,68
Параметр	Fe	Mn	Cr	W	C	TiO ₂	CaCO ₃
Грануляція, мм	0,16	0,16	0,315	0,16	0,16	0,16	0,16
Насипна вага, г/см ³	2,79	3,16	3,16	5,8	0,67	2,42	0,82

Таблиця 2.2 - Діаметри волок та значення $F_0 / F_{ш}$

Параметри	Розміри стрічок, мм						
	15×0,8	15×0,5	18×0,5	18×0,8	12×0,6	10×0,6	9×0,3
Діаметр волоки для згортання стрічки, мм	5,0	5,0	6,0	6,0	4,0	3,3	3,0
Значення $F_0 / F_{ш}$	0,965	0,520	0,425	0,750	0,885	1,145	0,552

Таблиця 2.3 - Коефіцієнти переходу легуючих елементів при наплавленні сталей

Легуючий елемент	Коефіцієнт переходу		
	Під шаром флюсу	В середовищі вуглекислого газу	Відкритою дугою
Mn	0,7 - 0,8	0,6 - 0,7	0,6 - 0,7
Si	0,6 - 0,7	0,5 - 0,6	0,5
Cr	0,8 - 0,9	0,8 - 0,9	0,7 - 0,8
V	0,7	0,6 - 0,65	0,6
Ni	0,9	0,9	0,9
W	0,85	0,8	0,8
Mo	0,9	0,87	0,83 - 0,86
C	0,95	0,9	0,9
Ti	0,5	0,3 - 0,5	0,3

3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

1. Що таке порошковий дріт?
2. Переваги використання порошкових дрітів.
3. Типи порошкових дрітів.
4. Послідовність розрахунку складу шихти порошкового дроту.
5. Склад шихти порошкового дроту.
6. Особливості плавлення порошкового дроту.

4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити методику розрахунку складу шихти порошкового дроту.
2. За вказівкою викладача провести розрахунок складу порошкового дроту, який забезпечує наплавлений метал заданого хімічного складу.

5 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Мета і задачі роботи.
2. Теоретичні відомості.
3. Розрахунок складу порошкового дроту.
4. Висновки.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Фрумин И.И., Юзвенко Ю.А., Лейначук Е.И. Технология механизированной наплавки. - М.: Высшая школа, 1964. - С. 113-136.
2. Разиков М.И., Толстов И.А. Справочник мастера наплавочного участка. - М.: Машиностроение, 1966. - С.45-64.

Додаток А

Марки порошкових дрітів для розрахунку

№	Марка	Тип
	Для наплавлення під плавленим флюсом АН - 20:	
1.	ПП - 3Х2В8	70Х3Г2В10Ф
2.	ПП - 5Х4В3Ф	75Х5Г2В4Ф
3.	ПП - Р9	140Х5Г2В4Ф
4.	ПП - Х12	280Х15
5.	ПП - Х12ВФ	240Х15В2Ф
6.	ПП - Х10В14	360Х10В14
7.	ПП - Р18	120Х4В19Ф2
8.	ПП - Г13А	110Г15С
9.	ПП - сормайт - 2	250ГС2Х18
10.	ПП - Х12ТФ	220Х15ФТ
	Для наплавлення в середовищі вуглекислого газу	
1.	ПП - 4Х2В8Т	50ГХ3В10ФТ
2.	ПП - 45Х23Г6Т	450Г6СХ23Т
3.	ПП - Р18Т	130Х5В20Ф2Т
4.	ПП - 5ХВ3Г2СТ	50ГХ3В11ФТ
5.	ПП - 5ХВ3Г2СТ	55Г3СХВ4ФТ
	Для наплавлення відкритою дугою	
1.	ПП - 3Х4В3Ф	30Х5ГВ4Ф
2.	ПП - Х12М - 0	150Х12ГСМ
3.	ПП - Х17Т	250Х17ГСТ
4.	ПП – АН 121	20ХГТ
5.	ПП – АН 122	30Х5Г2СМ
6.	ПП – 25Х5ФМС	25Х5ФМС
7.	ПП – 20Х4В10Н4ФТ	20В9Х4Н4ГФТ
8.	ПП – АН 125	200Х15С1ГРТ
9.	ПП – АН 170	80Х20Р3Т
10.	ПП - АН 133	10Х17Н9С5ГТ

Додаток Б

Приклад розрахунку складу шихти порошкового дроту

Дріт марки ПП-30Х10Г10Т призначений для зварювання та наплавлення кавітаційностійкої сталі 30Х10Г10Т в середовищі вуглекислого газу. Розрахунок проводиться на 100 г дроту. Необхідний хімічний склад наплавленого металу наведено у табл. Б.1.

Таблиця Б.1

Хім. елемент	<i>C</i>	<i>Cr</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>S</i>	<i>P</i>
Вміст, %	0,28	10	10	0,35	< 0,025	< 0,03

Значення коефіцієнту переходу основних елементів при напавленні в середовищі вуглекислого газу порошковим дротом ПП-30Х10Г10Т наведені у табл. Б.2.

Таблиця Б.2

Елемент	<i>Mn</i>	<i>Cr</i>	<i>C</i>	<i>Ti</i>
Коефіцієнт переходу	0,6–0,7	0,8–0,9	0,9–1,0	0,3–0,5

Кремній, сірка, фосфор потрапляють в метал лише в якості домішків, тому їх кількість не розраховують, а визначають лише кінцеве значення. Для отримання зварного шва високої якості при напавленні в середовищі вуглекислого газу в порошковому дроті необхідно мати 1%–1,2% титану. Виходячи з наведених даних, дріт ПП-30Х10Г10Т повинен мати такий розрахунковий склад:

Елементи	<i>C</i>	<i>Cr</i>	<i>Mn</i>	<i>Ti</i>	<i>Si</i>	<i>S</i>	<i>P</i>
Вміст, %	0,28	12	13	1,0	≤ 0,35	≤ 0,025	≤ 0,03

Легуючі елементи в порошковий дріт вводять у вигляді феросплавів, чистих металевих порошоків або лігатури типу *Fe–Cr–Mn–Ti*. Хімічний склад матеріалів, які використовують для виготовлення порошкового дроту приведено в табл. Б.3.

Таблиця Б.3 – Хімічний склад матеріалів, що використовують для виготовлення порошкового дроту ПП-30Х10Г10Т

Найменування матеріалу	Масова доля елементів, %							
	<i>C</i>	<i>Cr</i>	<i>Mn</i>	<i>Ti</i>	<i>Si</i>	<i>Fe</i>	<i>S</i>	<i>P</i>
Феромарганець (<i>Mn</i> ₂)	1,07		89,7		1,93			
Хром металевий Х1	0,18	9,3						
Феротитан <i>TiO</i>	0,2			5,4				
Залізний порошок АПМЖ - А	0,1		0,5		0,2	98,5	0,02	0,02

Графіт	98,5							
--------	------	--	--	--	--	--	--	--

Потрібна кількість феросплавів на 100 г дроту визначається в наступній послідовності:

1. Визначаємо кількість феромарганцю, необхідного для отримання в порошковому дроті 13% марганцю:

$$\frac{13 \cdot 100}{89,7} = 14,5 \text{ г.}$$

Із феромарганцем додатково буде внесено:

$$C = \frac{14,5 \cdot 1,07}{100} = 0,155 \text{ г та } Si = \frac{14,5 \cdot 1,93}{100} = 0,279 \text{ г}$$

2. Для введення в порошковий дріт 12% хрому необхідно:

$$\frac{12 \cdot 100}{89,3} = 13,4 \text{ г металевого хрому}$$

Додатково при цьому буде внесено:

$$C = \frac{13,4 \cdot 0,18}{100} = 0,0241 \text{ г}$$

3. Для введення в порошковий дріт 1,0% титану необхідно:

$$\frac{1,0 \cdot 100}{25,4} = 3,95 \text{ г феротитану}$$

При цьому додатково буде введено:

$$C = \frac{3,95 \cdot 0,2}{100} = 0,0078 \text{ г}$$

4. Таким чином, разом із феросплавами і металевими порошками введено $C = 0,115 + 0,0241 + 0,0078 = 0,147 \text{ г}$, отже необхідно додати $0,28 - 0,147 = 0,133 \text{ г}$ графіту.

Визначаємо коефіцієнт заповнення порошкового дроту за формулою (2), приймаємо при цьому $\gamma_0 = 7,8 \text{ г/см}^3$ і з табл. 2.2 для

стрічки розміром 15 x 0,8 мм $F_0/F_{\text{ш}} = 0,965$. Коефіцієнт заглиблення для компонентів даної грануляції приймаємо рівним 0,85.

Сумарна кількість наявних компонентів для порошкового дроту ПП-30Х10Г10Т:

$$\sum P_k = P_{FeMn} + P_{Cr} + P_{FeTi} + P_C = 14,5 + 13,4 + 3,95 + 0,09 = 31,94.$$

Сумарний об'єм компонентів:

$$\sum V_k = \frac{P_{FeMn}}{\gamma_{FeMn}} + \frac{P_{Cr}}{\gamma_{Cr}} + \frac{P_{FeTi}}{\gamma_{FeTi}} + \frac{P_C}{\gamma_C} = \frac{14,5}{3,39} + \frac{13,4}{3,16} + \frac{3,95}{3,69} + \frac{0,09}{0,067} = 9,65 \text{ см}^3.$$

Підставляючи числові значення в формулу (2.2), отримуємо:

$$K_3 = \frac{1 - \frac{0,85 \cdot 7,8}{100} \left(9,65 - \frac{31,94}{2,79} \right) 0,96}{1 + 0,85 \cdot 0,96 \cdot \frac{7,8}{2,79}} = 0,338.$$

Отже, K_3 для дроту ПП-30Х10Г10Т дорівнює 33,8%. Згідно розрахунку, сумарна кількість компонентів на 100 г дроту складає 31,94 г, тобто 31,94%, що менше розрахованого.

У зв'язку з цим, додаємо в шихту залізний порошок в кількості:

$$33,8 - 31,94 = 1,86 \text{ г}$$

і проводимо перерахунок K_3 . Тепер сума компонентів збільшиться:

$$\sum P_k = 31,94 + 1,86 = 33,8 \text{ г.}$$

Сумарний об'єм буде дорівнювати:

$$\sum V_k = 9,65 + \frac{1,86}{2,79} = 10,32 \text{ см}^3.$$

Підставляючи нові дані, отримаємо:

$$K_3 = \frac{1 - \frac{0,85 \cdot 7,8}{100} \left(10,32 - \frac{33,8}{2,79} \right) 0,96}{1 + 0,85 \cdot 0,96 \cdot \frac{7,8}{2,79}} = 0,34.$$

Тепер сумарна вага компонентів відрізняється від розрахованого незначно (не більше 5%) і може бути прийнята.

Якщо при розрахунку K_3 виходить більше сумарної ваги компонентів, віднесених до 100 г дроту, то необхідно взяти інші, більш концентровані компоненти, або знизити вміст якихось елементів в складі дроту, який розраховуємо.

Аналогічно залізного порошку можна вводити інші нейтральні компоненти. В даному розрахунку не врахована кількість елементів, що введені в дріт стрічкою. Стрічка має такий хімічний склад: $C = 0,046\%$, $Cr = 0,0175\%$, $Mn = 0,215\%$.

Сумарна кількість елементів в порошковому дроті даного складу, з урахуванням складу стрічки, змінюється дуже незначно і його можливо практично не враховувати.

Для виготовлення 100 г дроту необхідна така кількість матеріалу (г): стрічки – 66 г, феромарганцю (Mn_2) – 14,5 г, хрому металевого (X_1) – 13,4 г, феротитану (TiO) – 3,95 г, графіту – 0,04 г, залізного порошку (АПЖМ -А) – 1,86 г.

Додаток В

Хімічний склад феросплавів

Таблиця В.1 - Хімічний склад феросіліцію

Марка	Вміст елементів, %		
	Si	Mn	Cr
Си 90	87-95	0,5	0,2
Си 75	72-78	0,7	0,5
Си 45	43-50	0,8	0,5

Таблиця В.2 - Хімічний склад феротитану

Марка	Вміст елементів, %		
	Ti	C	Cu
Ти 0	25	0,15	3,0
Ти 1	23	0,15	3,0
Ти 2	23	0,20	4,0

Таблиця В.3 - Хімічний склад ферохрому

Марка	Вміст елементів, %		
	Cr	C	Si
Хр0000	65	0,06	1,5
Хр000	65	0,06-0,10	1,5
Хр00	60	0,11-0,15	1,5
Хр0	60	0,16-0,25	2,0
Хр01	60	0,26-0,50	2,0
Хр1	60	0,51-1,0	2,5
Хр2	60	1,1-2,0	2,5
Хр3	60	2,1-4,0	2,5
Хр	65	4,1-6,5	3,0
Хр6	65	6,6-8,0	3,0

Таблиця В.4 - Хімічний склад сілікомарганцю

Марка	Вміст елементів, %		
	Si	Mn	C
CuMn14	14,0-16,9	65,0	2,5
CuMn17	17,0-19,9	65,0	1,7
CuMn20	20,0	65,0	1,0

Таблиця В.5 - Хімічний склад ферованадію

Марка	Вміст елементів, %		
	V	C	Si
Вд1	35,0	0,75	2,0
Вд2	35,0	0,75	3,0
Вд3	35,0	1,00	3,5

Таблиця В.6 - Хімічний склад феромарганцю

Марка	Вміст елементів, %		
	Mn	C	Si
Mn0	80,0	0,5	2,0
Mn1	80,0	1,0	2,0
Mn2	80,0	1,5	2,5
Mn3	78,0	7,0	2,0
Mn4	76,0	7,0	2,0
MnIIK	78,0	7,0	1,0

Таблиця В.7 - Хімічний склад феровольфраму з молібденом

Марка	Вміст елементів, %		
	W	Mn	C
B1a	75	0,30	0,20
B2a	75	0,50	0,30
B3a	55	0,50	0,30

Таблиця В.8 - Хімічний склад феровольфраму

Марка	Вміст елементів, %		
	W	Mn	C
B0	80	0,2	0,20
B1	70	0,2	0,20
B2	70	0,4	0,70
B3	65	0,5	0,80

Таблиця В.9 - Хімічний склад феромолібдену

Марка	Вміст елементів, %		
	Mo	C	Si
Mo1	55,0	0,10	1,0
Mo2	55,0	0,15	1,5
Mo3	55,0	0,20	2,0