

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсового проекту з дисципліни
«Фізико-хімічні основи створення покриттів»
для студентів спеціальності 132 – "Матеріалознавство"
за освітньою програмою
"Композиційні та порошкові матеріали, покриття"
денної форми навчання

Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Фізико-хімічні основи створення покриттів» для студентів спеціальності 132 – "Матеріалознавство" за освітньою програмою "Композиційні та порошкові матеріали, покриття" денної форми навчання / Укладачі О.А. Мітяєв, Н.В. Широкобокова, В.М. Повзло. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. - 34 с.

Укладачі: О.А. Мітяєв, професор, д.т.н.
Н.В. Широкобокова, доцент, к.т.н.
В.М. Повзло, ст. викладач

Рецензент: В.М. Плєскач, доцент, к.т.н.

Відповідальний
за випуск: І.М. Сохрякова, зав. лаб.

Затверджено
на засіданні
НМК ФБАД
Протокол № 1
від «30» серпня 2024 р.

Затверджено
на засіданні кафедри
"Композиційні матеріали, хімія
та технології"
Протокол № 1
від «06» серпня 2024 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Завдання до курсового проєкту.....	5
2. Вибір матеріалу покриття.....	11
2.1 Визначення схеми та умов роботи деталі.....	11
2.2 Обрання наплавочних матеріалів.....	12
2.3 Наплавочні матеріали та умови їх використання.....	13
2.4 Розшифрування маркування обраних для нанесення захисних покриттів матеріалів триботехнічного призначення.....	13
2.5 Визначення режимів наплавлення.....	13
2.6 Визначення продуктивності процесу.....	28
3. Визначення витрати наплавочних матеріалів.....	28
3.1 Нормування витрати електродів при ручному дуговому зварюванні.....	28
3.2 Витрати електродного дроту та флюсу при автоматичному та механізованому зварюванні.....	29
4. Визначення частки участі основного та електродного матеріалу в складі наплавленого покриття.....	29
5. Визначення розрахункового складу металу покриття.....	31
6. Розрахунок коефіцієнта засвоєння легувальних елементів...	32
7. Загальні висновки.....	32
Рекомендована література.....	33
Додаток А Приклад титульного листа пояснювальної записки до курсового проєкту.....	34

ВСТУП

Захист деталей машин і металоконструкцій від корозії та зносу, підвищення довговічності машин та механізмів є однією з важливих технічних проблем. Близько 30 % щорічної виплавки металу або втрачається безповоротно у вигляді продуктів корозії та зносу, або перетворюється на металобрухт. Утрати робочого часу через поломки устаткування становлять близько 80 % загального часу простою. Витрати на експлуатацію наближаються до вартості самого устаткування.

На симпозіумі з питання зниження зносу в техніці, який було проведено в США, загальна думка звелась до того, що управління зношенням є центральною ланкою у рішенні таких національних проблем, як економія енергії, скорочення витрат матеріалів, забезпечення надійності та безпеки механічних систем. Для промисловості США економія за рахунок впровадження результатів триботехніки у практику перевищує 12...16 млрд. доларів за рік.

Одним з основних ефективних напрямів боротьби з корозією та зносом є застосування захисних покриттів. Механічна міцність деталі гарантується за рахунок використання одного матеріалу, а опір дії зовнішнім факторам забезпечується локальним формуванням на її поверхні тонких шарів зі спеціальними функціональними властивостями. Серед різних технологій нанесення покриттів за останній час інтенсивного розвитку набула група електро- та газотермічних методів, найпоширенішим з яких є наплавлення зносостійкими матеріалами. Матеріали, що наведено у методичних вказівках, не є науковою працею, а являє собою відомі факти з відкритих джерел [1-11], що викладено укладачами у певній послідовності з метою формування у здобувачів вищої освіти навичок до розв'язання складних спеціалізованих і практичних завдань

Процес наплавлення ґрунтується на нанесенні на поверхню деталі шару металу, який забезпечує збільшення її розмірів і підвищення зносостійкості. Під час виконання курсової роботи студенти повинні набути навичок розроблення технологічного процесу створення та нанесення зносостійких покриттів, аналізування отриманих результатів розрахунків, визначення й оптимізації технологічних параметрів нанесення покриттів, визначення економічних показників обраної технології.

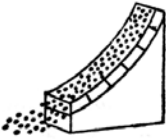
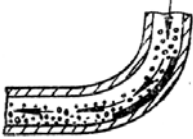
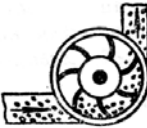
1 ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

Індивідуальні завдання складаються з питань, які у повному обсязі не розглядаються в процесі читання лекцій та проведення лабораторних робіт, але становлять складову частину дисципліни «Фізико-хімічні основи створення покриттів».

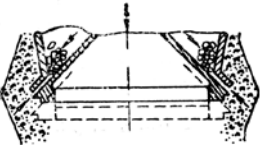
Вибір варіанту завдання студент робить самостійно за двома останніми цифрами номеру своєї залікової книжки згідно з таблицею 1.1, у якій наведено характерні умови роботи деталей, що інтенсивно спрацьовуються та потребують відновлення шляхом нанесення покриттів.

Курсовий проєкт оформлюється відповідно до вимог ЄСКД, ЄСТД, а також ДСТУ 3008-95. Пояснювальна записка до курсового проєкту становить поєднання теоретичної та розрахункової частин, які об'єднуються загальними висновками, і оформлюється студентом на аркушах формату А4. Захист курсового проєкту проводиться у встановлений керівником термін.

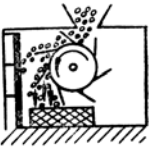
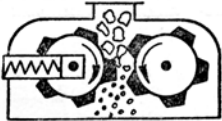
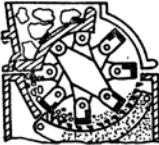
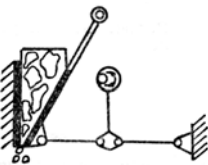
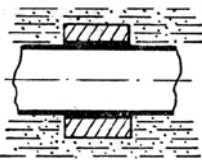
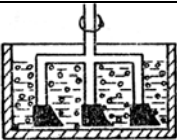
Таблиця 1.1 – Характерні умови роботи деталей, які відновлюються наплавленням

Варіант	Схема	Контртіло	Вид зношування. Умови експлуатації	Деталі, які наплавляються
01		Кварцевий пісок, подрібнена порода	Абразивне. Тиск низький.	Деталі облицювання бункерів, прес-форми для цеглин
02		Гранульований шлак, сталевий дріб	Газо-абразивне	Трубопроводи дробоструменевих і піскоструменевих пристроїв
03		Формувальна суміш, пісок	Газоабразивне, абразивне	Піскомети, деталі формувальних машин, лопатки дробометів

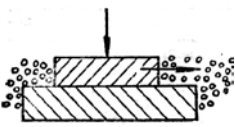
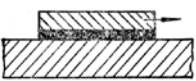
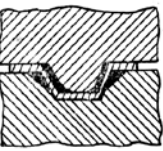
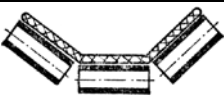
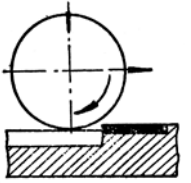
Продовження табл. 1.1

04		Кварцевий пісок, подрібнена порода, суха або волога	Газо-абразивне, абразивне	Ікли роторного екскаватора, різальні зубці, робочі деталі брикетних пресів
05		Сталь при відкриванні затвору – агломерат, шихта, колошниковий пил	Газо-абразивне. Температура газу до 800°C	Великий конус і чаша засипного апарату доменної печі
06		Пластмаси з наповнювачами, сірий синтетичний каучук	Абразивне і корозійно-механічне. Температура до 400°C; агресивні розчини	Шнеки та гільзи екструдерів, витискні машини
07		Ґрунт різних типів (чорнозем, суглинок та ін.)	Абразивне	Леміши плугів, лапи культиваторів, диски борон
08		Кам'янистий ґрунт	Абразивне	Леміши плугів, лапи культиваторів, диски борон
09		Пісок, змерзлий ґрунт, валуни, скелясті породи	Абразивне. Тиск до 50 МПа	Зубці та ковши екскаваторів, деталі дробарок

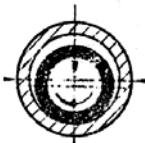
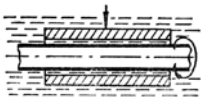
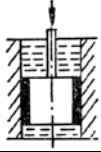
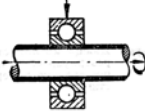
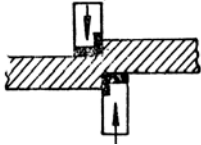
Продовження табл. 1.1

10		Сталевий дріб, електро-корунд	Абразивне з ударами	Лопатки дробометів, відбійні листи, лопаті димососів та експаустерів
11		Вугілля, вапняк та інші породи	Абразивне з ударами	Била молоткових дробарок та млинів для розмолу вугілля
12		Вапняк, каолін та інші породи	Абразивне	Валки дробарок з шипами
13		Вугілля, вапняк та інші породи	Абразивне з ударами	Колосники молоткових дробарок, деталі кульових млинів, молоткових дробарок
14		Руда і гірничі породи середньої та високої міцності	Абразивне з ударами. Тиск до 50 МПа	Щоки дробарок, бандажі валкових дробарок
15		Рідке середовище і тверді суспензовані зерна (пісок та інш.)	Гідро-абразивне	Захисні втулки валів, деталі насосів та гідротурбін
16		Пісок та гравій, розмелені мінерали	Гідро-абразивне	Мішалки та інші деталі змішувачей, земснарядів

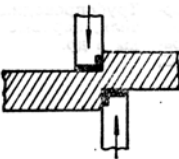
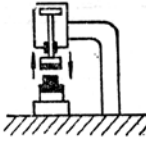
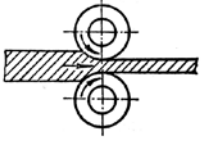
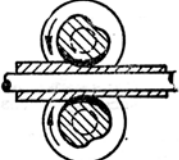
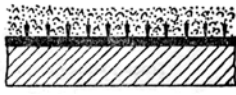
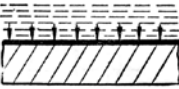
Продовження табл. 1.1

17		Пісок, гравій та каміння	Гідро-абразивне	Деталі морських землечерпалок, грейдерів та екскаваторів
18		Конструкційна сталь та абразив	Абразивне з ударами	Деталі гусеничних машин, ланцюгів екскаваторів, зірочки ковшових елеваторів
19		Конструкційна сталь	Механічне. Тертя без змащування або з граничним мастилом	Напрявні, вимірювальний інструмент
20		М'яка сталь, нержавіюча сталь, алюміній	Механічне. Тиск більше 50 МПа, удари, ковзання	Штампи для гнуття, витягування, холодного штампування
21		Сталь	Механічне	Робочі колеса кранів, колесні пари та бандажі
22		Гума або синтетична тканина	Абразивне	Ролики транспортних стрічок
23		Сталь	Механічне. Сильні удари, які викликають зім'ятість, а також абразивне зношування	Залізничні хрестовини, ланки гусениць

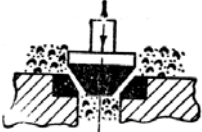
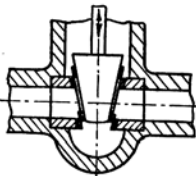
Продовження табл. 1.1

24		Конструкційна сталь	Механічне. Граничне змащування, контактні напруження	Зубці шестерен
25		Конструкційна сталь	Механічне. Граничне змащування, наявність продуктів зношування	Уцілювання валів, вузли тертя ковзання
26		Бронза, анти-фрикційний сплав	Механічне. Плівка мастила	Вали, осі у вузлах тертя з мастилом
27		Сталь	Гідро-ерозійне	Вали суден, підшипники ковзання гідравлічних приводів
28		Вода	Кавітаційне	Лопаті гідротурбін, лопаті судових гвинтів
29		Сталь, бронза	Кавітаційне	Плунжери гідравлічних пресів
30		Сталь	Механічне	Посадочні місця
31		Сталь, кольорові метали	Механічне. Тиск більше 50 МПа, удари, ковзання	Ножі ножиць холодного різання, обрізні штампи холодного штампування

Продовження табл. 1.1

32		Сталь, нагріта до 1100°C	Корозійно-механічне. Тиск більше 50 МПа, удари, ковзання, окиснювальна атмосфера, різке охолодження	Ножі ножиць гарячого різання, штампи гарячого штампування
33		Гарячий метал (сталь, сплави нікеля, міді та ін.)	Корозійно-механічне. Окислювальна атмосфера, удари	Деталі ковальських молотів та пресів, ковочні штампи гарячої штамповки
34		Гарячий метал (лист та сорт)	Корозійно-механічне. Циклічне нагрівання та різке охолодження	Валки гарячого прокатування листа та сортового прокату
35		Гарячий метал - труби	Корозійно-механічне	Валки пільгерстанів, ковальських машин, штампи гарячого штампування
36		Гарячі гази	Окиснювальне. Окислювальна атмосфера, висока температура	Деталі облицювання печей, тримачі
37		Рідкі та газоподібні агресивні середовища, які викликають корозію	Гідро- та газозерозійне	Днища котлів, стінки резервуарів, труби (внутрішні поверхні)

Продовження табл. 1.1

38		Зола, пісок, вугілля	Газо-абразивне. Температура до 500°C	Парозольні вентилі, сідла продувочних клапанів
39		Пара високих параметрів, вода	Ерозійне та корозійно-механічне. Температура до 585°C, тиск до 1200 МПа	Трубопроводні вентилі, парові клапани та інш.
40		Жаростійкий чавун або сплав, вихлопні гази	Ерозійне та корозійно-механічне. Температура до 850°C, удари	Вихлопні клапани двигунів внутрішнього згоряння
41		Розплавлене скло	Корозійно-механічне. Температура 600-800°C	Прес-форми для пресування скловиробів
42		Порода, суха та волога	Абразивне з ударами	Зубці шарошек бурових доліт, замки та муфти бурильних труб, гірничий та ґрунто-обробний інструмент

2 ВИБІР МАТЕРІАЛУ ПОКРИТТЯ

2.1 Визначення схеми та умов роботи деталі.

Виходячи з варіанту, обраного відповідно до таблиці 1.1, визначити схему та характерні умови роботи деталей, що потребують відновлення або захисту шляхом нанесення зносостійких покриттів.

У пояснювальній записці коротко описати, що становить і чим характеризується конкретний вид зношування та за рахунок яких основних чинників він виникає або прогресує.

2.2 Обрання наплавочних матеріалів.

При виборі матеріалів для нанесення захисних та відновлюваних покриттів передбачити можливість їх використання для технологічних процесів, як ручного, так і механізованого наплавлення. З таблиці 2.1 обрати наплавочні матеріали, які необхідно використовувати при ручному дуговому наплавленні. У записці коротко описати, за яких умов використовується ручне дугове наплавлення.

Таблиця 2.1 - Наплавочні електроди

Група	Тип електрода	Марка електрода	Деталі для наплавлення
I	Э-10Г2 Э-11Г3 Э-12Г4 Э-15Г5	ОЗН-250У ОЗН-300У ОЗН-350У ОЗН-400У	Деталі, які експлуатуються в умовах інтенсивного зношування, що супроводжується ударами
II	Э-30В8Х3 Э-35Х12В3СФ	ЦШ-1, ИН-1 Ц-16	Гарячі штампи
III	Э-37Х9С2 Э-70Х3СМТ Э-100Х12М	ОЗШ-3 ЭН-60М ЭН-Х12М	Холодні штампи
IV	Э-65Х11Н3 Э-65Х25Г13Н3	ОМГ-Н ЦНИИН-4	Зношені деталі зі сталі 110Г13Л
V	Э-90В10Х5Ф2 Э-105В6Х5М3Ф3 Э-08К15В7М5Х3СФ	ЦИ-2У И-1 ОЗИ-4	Металорізальний інструмент, гарячі штампи для витягання та прошивання
VI	Э-95Х7Г5С Э-30Х5В2Г2СМ	12АН/ЛИВТ ТКЗ-Н	Деталі, що працюють в умовах ударно-абразивного зношування
VII	Э-300Х28Н4С4 Э-110Х14В13Ф2	ЦС-1 ВСН-6	Деталі, які експлуатуються в умовах інтенсивного абразивного зношування з ударними навантаженнями

Продовження табл. 2.1

VIII	Э-320Х23С2ГТР Э-320Х25С2ГР	Т-620 Т-590	Деталі, які експлуатуються в умовах переважно абразивного зношування
IX	Э-08Х17Н8С6Г Э-13Х16Н8М5С5Г4Б Э-190К62Х29В5С2	ЦН-6М ЦН-6Л, ЦН-12М УН-12Л ЦН-2	Ущільнювальні поверхоні трубопроводної арматури для енергетики та нафтоапаратури

2.3 Наплавочні матеріали та умови їх використання.

З таблиці 2.2 обрати наплавочні матеріали, які слід використовувати при автоматичному або напівавтоматичному дуговому наплавленні. Коротко описати, за яких умов доцільно використовувати ці методи наплавлення.

2.4 Розшифрування маркування обраних для нанесення захисних покриттів матеріалів триботехнічного призначення.

У пояснювальній записці навести хімічний склад обраних зносостійких матеріалів як для ручного, так і механізованого наплавлення.

2.5 Визначення режимів наплавлення.

Під режимом наплавлення розуміють сукупність контрольованих параметрів, що визначають умови процесу. До основних параметрів режиму ручного дугового наплавлення належать: діаметр електрода; величина, рід і полярність струму; напруга на дузі, швидкість наплавлення.

2.5.1 Обрати діаметр електрода d_e , мм.

Діаметр електрода d_e , мм, обирають залежно від товщини наплавленого металу та положення шва у просторі. Для малих товщин (до 4 мм) діаметр електрода дорівнюється їх товщині; при більших товщинах він поступово зростає до 6...8 мм (табл. 2.3).

Таблиця 2.2 - Дроти для механізованого наплавлення дугою на постійному струмі зворотньої полярності

Марка (Тип або ГОСТ)	Деталі, що наплавляються (варіанти)	Діаметр або розміри перетину, мм	Режим наплавлення		Умови застосування	Витрати дроту на 1 кг наплавленого металу, кг	Властивості наплавленого металу		
			Постійний струм зворотньої полярності, А	Напруга, В			Твердість	Зносостійкість	Оброблюваність
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПП-Нп- 10Х15Н2ГТ (ТУ 14-4- 840-77)	Камери та лопаті гідротурбін (28)	2,6	260-280- у нижньому положенні, 220-250- вертикаль- ному, 180-200- стельовому	24-26 24-27 20-22	Без попереднього підігріву	1,3	240- 260 НВ	Висока стійкість проти кавітації та корозії	немає відомос- тей

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПП-Нп-70Х4МЗГ4Ф ТР (ГОСТ 26101-84)	Корпуси та колеса землесосів, ковши екскаваторів та черпаків драг, молотки дробарок, бурові коронки та т. п.(4, 9, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 42)	3,2	350-450	32-36	Нанесення наступного шару на попередній рекомендується проводити після охолодження його до 250-150° С. При більшому об'ємі наплавки накладати розширені (25-30 мм) валики завдовжки не менш 400 мм	1,15	57-62 HRC	Висока	Шліфування. Відрізання тільки після відпалювання

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПП-Нп-14СТ (ГОСТ 26101-84)	Осі колес залізничних вагонів та інші деталі з вуглецевих конструкційних сталей і ливарних сталей марок 25Л та 45Л (18, 19, 21)	3,0	280-340	24-26	Без попереднього підігрівання	1,20- 1,25	240- 260 НВ	Задові- льна	Без утруд- нень
ПП-Нп- 25Х5ФМСТ (ГОСТ 26101-84)	Ножі гарячого різання металу, пресовий та штамповий інструмент, валки періодичної прокатування (33, 34)	2,6	280-320	25-27	Попереднє підігрівання до 250-300°С. Після наплавлення повільне охолодження зі швидкістю 40-60 град/год, відпускання при 400°С, витримка 2 год	1,28	40-46 HRC, 47-50 HRC після термо- оброб- лення	Висока	Утруд- нена

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПП-Нп-30Х4ВЗМЗФС (ГОСТ 26101-84)	Ножі гарячого різання металу, пресовий та штамповий інструмент, валки періодичного прокатування (33, 34)	1,8 2,2 2,6	150-200 210-260 250-300	20-25 22-27 23-28	Попереднє підігрівання до 250-300°С, відпуск 400°С та повільне охолодження зі швидкістю 40 - 60 град/год	1,2	47-50 HRC	Висока	Утруднена
ПП-Нп-30Х4Г2СМ (ГОСТ 26101-84)	Сталеві колінчасті вали, хрестовини карданих валів, шліцеві та гладкі вали (21, 25, 26)	2,0	200-230	24-26	Попереднє підігрівання до 250-300°С. Рекомендується широкошарова наплавка з поперечними коливаннями електрода	1,25	50-56 HRC 28-32 HRC після термооброблення	Висока	Шліфування. Відрізання тільки після відпалювання

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПП-Нп-30Х5Г2СМ (ГОСТ 26101-84)	Катки та ролики ходової частини гусеничних машин, камер та шнеків гумозмішувачей, колінчастих валів, хрестовин карданих валів та ін. (18, 22, 26, 30)	2,6	320-360	25-27	Попереднє підігрівання до 250-300°С	1,25	50-56 HRC 28-32 HRC після термооброблення	Висока	Шліфування. Відрізання тільки після відпалювання
ПП-Нп-50Х6СГТР (ТУ ИЭС 516-85)	Штампи холодного штампування для обрізання та вирубання (20, 31)	2,0 2,8	190-220 280-320	21-24 25-27	Попереднє підігрівання до 400°С одногодинне відпускання при температурі 300-400 °С з наступним повільним охолодженням	1,25	Не менш 57 HRC	Дуже висока	Шліфування. Відрізання тільки після відпалювання

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПП-Нп- (40Х4Г2СМ НТФ)	Деталі ходової частини гусеничних машин, стальні колінчасті вали, хрестовини карданих валів (8, 25,26)	2,0	150-300	22-26	При наплавленні на вуглецеві сталі попереднє підігрівання до 250-300°С	1,25	48-56 HRC	Висока	Шліфування. Відрізання тільки після відпалювання
ПП-Нп- 40Х7М1ФСТЦ (ТУ ИЭС 311-81)	Робочі поверхні аксіальних та радіальних валків кільцезокочувального стану (34, 35)	2,4 2,6	200-220 220-260	22-24 24-26	Попереднє підігрівання до 350°С, потім повільне охолодження зі швидкістю 40-60 град/год	1,2	52-56 HRC	Висока	Шліфування. Відрізання тільки після відпалювання

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПП-Нп-90Г13Н4 (ГОСТ 26101-84)	Залізничні хрестовини, деталі дробильно-розмольного обладнання, деталі зі сталі 110Г13Л* (10, 11, 13, 14, 23)	2,8	220-240	20-22	Не допускається надмірне розігрівання виробу, що направляється При багатопаровому наплавленні обов'язкове проковування кожного наплавленого шару	1,25	До 20 HRC, 40-45 HRC після наклепу	Висока	Шліфування. Відрізання тільки після відпалювання

* Для відновлення розмірів та виправлення дефектів лиття.

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПП-Нп-200ХГСП (ТУ ІЭС 435-84)	Колінчасті вали з високоміцного чавуну марки ВЧ500-2 та ВЧ500-1,5 (25, 26)	1,8	120-140	19-22	Рекомендується наплавка в один шар з поперечними коливаннями електроду з максимальною погонною енергією (змінюється за рахунок зменшення швидкості наплавлення). При збільшенні струму дуги (понад 220 А) можливо утворення окремих поперечних волосяних тріщин	1,1-1,2	48-56 HRC	Висока	Шліфування. Відрізка-ння тільки після відпалювання

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПП-Нп-200Х15С1ГРТ (ГОСТ 26101-84)	Зубці та стінки ковшей екскаваторів, колосники грохотів, ножи грейдерів, бульдозерів та черпалок, ланки та зірочки ходової частини гусеничних машин (9, 12, 13, 17) вана	3,2	400-420	28-32	Рекомендується широкошарове наплавлення на збільшеному вилеті з коливальними рухами електродного дроту. Загальна товщина наплавленого шару не більше 12 мм	1,15	50-58 HRC	Висока	Шліфування. Відрізання тільки після відпалювання
ПП-Нп-250Х10Б8С2Т (ГОСТ 26101-84)	Зубці та ковши сталевих екскаваторів, розпушувачів та коронок важких бульдозерів, призначених	3,2	380-420	30-34	Рекомендується наплавлення на підвищеному вилеті (70-90 мм) з поперечними коливаннями електродного	1,15-1,25	50-58 HRC	Висока	Шліфування. Відрізання тільки після відпалювання

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	для роботи в умовах мерзлоти (9, 16, 17)				дроту 30-50 мм. Зварювальна вана - зі зниженою рідиноплинністю. Допускається багатошарове наплавлення окремих ділянок завтовшки до 40-50 мм				
ПП-Нп-350Х10Б8Т2 (ТУ 14-283-16-83)	Коронки розпушувачів важких бульдозерів, зубці провідних вінців гусеничних машин, клапани та седла клапанів	2,6 3,2	220-650	26-34	При наплавці з коливаннями розмахом 30-80 мм допускається багатошарова наплавка загальною товщиною до	1,15	54-60 HRC	Дуже висока	Шліфування. Відрізання тільки після відпалювання

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	домених печей, ущільнювальні поверхні малих конусів засипних апаратів домених печей та інші деталі (9, 17, 18)				20-25 мм, а також повторне наплавлення деталей без видалення залишків наплавленого шару				

Таблиця 2.3 – Приблизне співвідношення між товщиною наплавленого металу і діаметром електрода

Товщина металу S ,мм	1...2	3...5	4...10	12...24	30...60
Діаметр електрода d_e , мм	2...3	3...4	4...5	5...6	6...8

2.5.2. Визначити силу зварювального струму $I_{зв}$, А.

Сила зварювального струму в основному залежить не тільки від діаметра електрода, а також від довжини його робочої частини, складу покриття, положення зварного шва.

При ручному дуговому наплавленні сила зварювального струму орієнтовно визначається $I_{зв} = (40...60) \cdot d_e$. При наплавленні електродами з товстими обмазками, до складу яких входить основна кількість легувальних елементів, для отримання якісного наплавленого покриття слід збільшувати величину $I_{зв}$.

При механізованому наплавленні силу струму обрати відповідно до рекомендацій, що наведені у таблиці 2.2.

Слід врахувати, що при надмірному струмі для даного діаметра електрода він швидко перегрівається вище допустимої межі, що призводить до зниження якості шва та підвищеного розбризкування. При недостатній силі струму дуга нестійка, часто обривається, у наплавленому шарі можуть бути непровари або ділянки з поганим формуванням покриття.

2.5.3. Обрати напругу на дузі U_d , В.

Напруга на дузі U_d , В, практично не впливає на кількість електродного металу, що переходить до наплавленого шару. Тому вона змінюється для всіх режимів наплавлення у порівняно вузьких межах – 16...30 В. При обранні напруги на дузі слід враховувати рекомендації, які наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Вплив режиму наплавлення на розмір та форму шва

Характеристика шва	Зміна характеристики шва при збільшенні							
	сили струму	діаметра електроду	напруга, В		швидкості наплавлення (зварювання), м/год			розміру зерен флюсу
			від 24 до 34	від 36 до 46	до 17	від 17 до 40	від 41 до 150	
Глибина провару	Інтенсивно збільшується	Зменшується	Збільшується незначно	Зменшується незначно	Трохи збільшується	Не змінюється	Зменшується	Зменшується незначно
Ширина шва	Збільшується незначно	Збільшується	Збільшується інтенсивно	Зменшується				Збільшується незначно
Висота потовщення	Збільшується інтенсивно	Зменшується			Збільшується незначно			Зменшується незначно
Коефіцієнт форми провару	Зменшується інтенсивно	Збільшується	Збільшується інтенсивно	Збільшується інтенсивно	Зменшується незначно			Збільшується
Частка основного металу в металі шва	Збільшується інтенсивно	Зменшується	Збільшується незначно		Збільшується інтенсивно			Зменшується незначно

При механізованому зварюванні при обранні напруги на дузі звернути увагу на рекомендації, які подано у таблиці 2.2.

2.5.4 Розрахувати швидкість наплавлення V_n , м/год.

Швидкість наплавлення V_n залежить від сили зварювального струму, конструкції або форми наплавленого покриття, умов нанесення та ін.:

$$V_n = 10^{-2} \cdot \alpha_n \cdot I_{зв} / (\rho_n \cdot F_n), \quad (2.1)$$

де α_n – коефіцієнт наплавлення, г/(А·год);

$I_{зв}$ – сила зварювального струму, А;

ρ_n – густина металу покриття, г/см³;

F_n – площа поперечного перетину наплавленого шару, см².

Коефіцієнт наплавлення α_n при ручному дуговому наплавленні становить $\alpha_n = 8 \dots 12$ г/(А·год), а при механізованому – $\alpha_n = 18 \dots 20$ г/(А·год).

Для кожного варіанта завдання густина металу покриття ρ_n і площа поперечного перетину наплавленого шару F_n наведені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Параметри для розрахунку швидкості наплавлення V_n

Варіанти завдання (відповідно до таблиці 1.1)	Коефіцієнт наплавлення α_n , г/(А·год);		Густина металу покриття ρ_n , г/см ³	Площа поперечного перетину наплавленого шару, F_n , см ²	Час наплавлення t , год	
	Наплавлення				Наплавлення	
	ручне	механізоване			ручне	механізоване
1; 6; 11; 16; 21; 26; 31; 36; 41	8	18	7,27	1,20	5,56	2,5
2; 7; 12; 17; 22; 27; 32; 37; 42	9	19	7,32	1,44	4,20	2,0
3; 8; 13; 18; 23; 28; 33; 38	10	19	7,37	1,65	2,85	1,5
4; 9; 14; 19; 24; 29; 34; 39	11	20	7,41	1,90	1,82	1,0
5; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40	12	20	7,46	2,11	0,85	0,5

2.6 Визначення продуктивності процесу.

Продуктивність процесу значною мірою визначається силою струму. Чим більша сила струму, тим більша продуктивність, тобто більша кількість наплавленого металу:

$$P_n = \alpha_n \cdot I_{зв} \cdot t \quad (2.2)$$

де P_n – маса наплавленого металу за певний час (продуктивність), г;

α_n – коефіцієнт наплавлення, г/(А·год);

$I_{зв}$ – сила зварювального струму, А;

t – час наплавлення, год.

Визначення продуктивності провести для ручного та механізованого наплавлення. Для розрахунків маси наплавленого металу P_n дані стосовно часу наплавлення обрати з таблиці 2.5.

3 ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ НАПЛАВОЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

3.1 Нормування витрати електродів при ручному дуговому зварюванні.

Витрата електродів P_e (у штуках) на 1 м шва визначається виразом:

$$P_e = K_e \cdot G_n / G_e, \quad (3.1)$$

де G_n – маса наплавленого металу на 1 м шва, г;

K_e – коефіцієнт витрати електродів, який враховує втрати електрода на вигорання, розбризкування, недогарки. Цей коефіцієнт залежно від марки електрода, типу електродотримача, технології та умов зварювання орієнтовно дорівнює 1,35...1,45.

При розрахунках враховувати, що маса електроду для наплавлення становить $G_e = 90$ г.

Маса наплавленого металу на 1 м шва визначається як:

$$G_n = F_n \cdot \rho_n \cdot 100, \quad (3.2)$$

де F_n – поперечна площа наплавленого металу шва, см^2 ;

ρ_n – густина наплавленого металу, г/см^3 .

Визначити витрату електродів P_e на 1 м наплавленого шва.

3.2 Витрати електродного дроту та флюсу при автоматичному та механізованому зварюванні.

Витрата електродного дроту $P_{e.d.}$ (за масою) на 1 м шва визначається виразом:

$$P_{e.d.} = G_n \cdot K_v, \quad (3.3)$$

де G_n – маса наплавленого металу на 1 м шва, г;

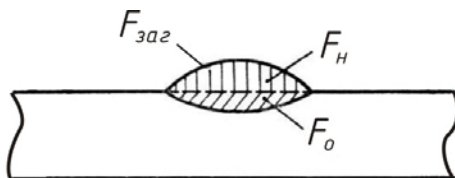
K_v – коефіцієнт, який враховує неминучі втрати електродного дроту при налагодженні обладнання, невикористані кінці дроту в бухті, обрубкування кінців дроту при заряджанні касет та ін.

При автоматичному наплавленні $K_v \approx 1,03$ (3 % втрат), при механізованому – $K_v \approx 1,10$ (до 10 % втрат). Витрату флюсу визначають за досвідом, орієнтовно в 1,2...1,4 рази більше маси електродного дроту, що витрачається.

4 ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТКИ УЧАСТІ ОСНОВНОГО ТА ЕЛЕКТРОДНОГО МАТЕРІАЛУ В СКЛАДІ НАПЛАВЛЕНОГО ПОКРИТТЯ

Хімічний склад металу наплавленого шару та його властивості залежать від складу та ступеня участі у формуванні шва основного та електродного (присаджувального) металу, реакцій взаємодії розплавленого металу з газами атмосфери та захисними засобами.

Частки основного металу (ψ_o) та електродного (ψ_{el}) в металі наплавленого шву залежать від виду з'єднання, конфігурації нанесеного покриття; виду та режиму наплавлення. Вони визначаються площами, зайнятими основним та електродним металом у поперечному перерізі шва, до всієї його площі (рис. 4.1).



$F_{\text{заг}}$ – загальна площа поперечного перерізу нанесеного шва;
 $F_{\text{н}}$ – площа поперечного перерізу наплавленого шару; $F_{\text{о}}$ – площа перерізу частини шва, що утворена за рахунок розплавлення основного металу

Рисунок 4.1 – Поперечний переріз наплавленого шару

Ступінь участі електродного металу при одношаровому наплавленні $\psi_{\text{ел}}$ визначається за формулою:

$$\psi_{\text{ел}} = \frac{F_{\text{н}}}{F_{\text{заг}}} = \frac{F_{\text{н}}}{F_{\text{о}} + F_{\text{н}}} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

де $F_{\text{н}}$ – площа перерізу частини шва, що утворений за рахунок електродного металу, см^2 ;

$F_{\text{заг}}$ – площа загального перерізу наплавленого металу, см^2 ;

$F_{\text{о}}$ – площа перерізу частини шва, що утворена за рахунок розплавлення основного металу, см^2 .

Площа перерізу наплавленого шару $F_{\text{н}}$ вказана у таблиці 2.5. Площу перерізу частини шва, що утворена за рахунок розплавлення основного металу визначити за формулою:

$$F_{\text{о}} = (0,15 \dots 0,40) F_{\text{н}}, \quad (4.2)$$

де $0,15 \dots 0,40$ – коефіцієнт, який залежить від сили зварювального струму $I_{\text{зв}}$. Цей коефіцієнт тим більший, чим вища $I_{\text{зв}}$.

Частка участі основного металу визначається за формулою:

$$\Psi_{\text{о}} = (1 - \psi_{\text{ел}}) \cdot 100 \%. \quad (4.3)$$

Розрахунок провести для обох методів наплавлення (ручного і механізованого).

5 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО СКЛАДУ МЕТАЛУ ПОКРИТТЯ

Для визначення розрахункового складу металу покриття використати формулу:

$$C_p = (\psi_o \cdot C_o + \psi_{ел} \cdot C_{ел}) / 100, \quad (5.1)$$

де C_p – розрахункова концентрація даного легувального елемента в металі шва, %;

C_o – концентрація того ж елемента в основному металі, %;

$C_{ел}$ – концентрація даного легувального елемента в електродному металі, %;

ψ_o – доля основного металу в металі шва, %. Розраховується як $(1 - \psi_{ел}) \cdot 100$ % (див. п. 4).

Різниця між фактичним хімічним складом наплавочних матеріалів (див. п. 2) і розрахунковим складом ΔC :

$$\Delta C = C_n - C_p, \quad (5.2)$$

де C_n – концентрація легувального елемента в наплавочному матеріалі, %;

Величина ΔC дає можливість судити про ступінь переходу того чи іншого елемента до металу шва в процесі наплавлення. Відомості про кількість елемента, що переходить до покриття при напавленні, дає змогу управляти ходом металургійних процесів, правильно обирати присадочні матеріали та режими наплавлення для отримання покриттів з хімічним складом і властивостями, що вимагаються.

Розрахунок провести для обох методів наплавлення (ручного і механізованого).

6 РОЗРАХУНОК КОЕФІЦІЄНТА ЗАСВОЄННЯ ЛЕГУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Ступінь використання даного елемента визначається коефіцієнтом засвоєння – відношенням вмісту легувального елемента в металі шва до сумарного вмісту його в наплавочному матеріалі та основному металі.

Коефіцієнт засвоєння суттєво залежить від режимів наплавлення. Шляхом зміни режиму наплавлення можна керувати цим показником, а як наслідок – і властивостями наплавленого металу.

Розрахунок провести для обох методів наплавлення (ручного і механізованого).

7 ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Закінчується пояснювальна записка загальними висновками, у яких необхідно відобразити переваги та недоліки, а також можливі шляхи удосконалення розробленої технології.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Дубовий О.М. Технологія газотермічного і вакуумно-конденсаційного нанесення покриттів: Підручник / О.М. Дубовий, А.А. Карпеченко, М.М. Бобров. – Миколаїв: видавець Торуба В.В., 2018. – 202 с.
2. Похмурський В.І. Електродугові відновні та захисні покриття / В.І. Похмурський, М.М. Студент, В.М. Довгунік, Г.В. Похмурська, І.Й. Сидорак. – Львів: Національна академія наук України, Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка, 2005. – 192 + вклейка 8 с.
3. Дубовий О.М. Технологія напилення покриттів: Підручник / О.М. Дубовий, А.М. Степанчук. – Миколаїв: НУК, 2007. – 236 с.
4. Корж В.М. Нанесення покриття: Навч. посібник / В.М. Корж, В.Д. Кузнецов, Ю.С. Борисов, К.А. Ющенко; за ред. К.А. Ющенко. – К.: Арістей, 2005. – 204 с.
5. Збожна О.М. Основи технології: Навчальний посібник / О.М. Збожна. – Тернопіль: Карт-бланш, 2002. – 486 с.
6. <http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/36387/1/Pokryttya-u-pryladobud.pdf>
7. <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/39449/3/Kontrol-pokryttya.pdf>
8. <http://www.univer.kharkov.ua/images/redactor/news/2013-06-21/beresnev.pdf>
9. <http://www.nanoindustry.su/journal/article/2717>
10. <https://metallizator.com.ua/nanesenie-pokritiy>
11. <http://pmiinstitute.by/produce/materialy>

Додаток А

Приклад титульного листа пояснювальної записки
до курсового проєкту
Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»

Кафедра «Композиційні матеріали,
хімія та технології»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КУРСОВОГО ПРОЄКТУ
з дисципліни _____
«Фізико-хімічні основи створення покриттів»

Розробив _____
ст.гр.

Керівник _____

20____ р.