

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи №1

“Дослідження структури та властивостей (твердість і мікротвердість)
металу наплавленого стандартними матеріалами”
з дисципліни “Матеріали для наплавлення та напилення” для
студентів освітньої програми „Відновлення та підвищення
зносостійкості деталей і конструкцій” усіх форм навчання

2017

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи №1
“Дослідження структури та властивостей (твердість і мікротвердість)
металу наплавленого стандартними матеріалами” з дисципліни
“Матеріали для наплавлення та напилення” для студентів освітньої
програми „Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і
конструкцій” усіх форм навчання / Укл.: М.І. Андрущенко, О.Є.
Капустян – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. - 30 с.

Укладачі: М.І. Андрущенко, канд. техн. наук, доцент
О.Є. Капустян, старш. викл.;
Рецензент: М.Ю. Осіпов, канд. техн. наук, доцент
Редактор: І.П. Аверченко
Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол № 1 від 22.08.2017

Рекомендовано до видання
НМК ІФФ
Протокол № 1 від 19.09.2017

ЗМІСТ

1 МЕТА РОБОТИ.....	4
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	4
3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ	26
4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ	27
5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ	28
6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ...	29
7 ЗМІСТ ЗВІТУ	29
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	30

1 МЕТА РОБОТИ

Освоїти методику і визначити структуру, твердість і мікротвердість (до зношування) наплавленого металу. Розподілити матеріали за структурними ознаками (5-6 груп). Спрогнозувати на якісному рівні відносну зносостійкість металу в умовах абразивного зношування.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Оптимальний вибір матеріалів при розробці технології відновлення і зміцнення деталей наплавленням є одним з основних умов забезпечення високого рівня техніко-економічних показників виробництва. В даний час промислово випускаються сотні марок наплавлювальних дротів, електродів і ін. Ринок рясніє пропозиціями про постачання великого ряду вітчизняних і імпорتنих матеріалів. При цьому в рекламних проспектах часто зустрічаються вирази типу "...має чудові якості, високі властивості..." і ін. Для наплавлення одних і тих же деталей пропонуються матеріали різні по хімічному складу, структурі, властивостям, ціні, що затрудняє обґрунтований вибір матеріалів без проведення на підприємствах додаткових випробувань.

Неодноразово робилися спроби розробити загальновизнану систему класифікації багаточисельних варіантів наплавленого металу. Існує декілька підходів до вирішення цього питання.

Матеріали класифікуються:

- за призначенням;
- по характерних групах хімічного складу;
- по структурі.

Всі варіанти мають, як переваги, так і недоліки, тому у ряді випадків для обґрунтованого вибору матеріалів необхідно проводити аналіз, виходячи з положень всіх систем класифікації.

Прикладом класифікації за призначенням є стандарт (ГОСТ 10051-75) на електроди для наплавлення, який включає 44 марки покритих електродів. У ньому передбачено дев'ять груп електродів за

призначенням. У табл. 2.1, як приклади, приведені ці групи - по два типи стандартних покритих електродів. Або подібний варіант класифікації суцільнотягнутих проволоч (табл. 2.2) ГОСТ 10543-82

Таблиця 2.1 - Приклади класифікації електродів за призначенням відповідно до ГОСТ 10051-75

Група	Основна область призначення	Типи електродів	Марки електродів
1	Наплавлення деталей, які зношуються від тертя по металу, що супроводжується ударами (осі, вали, кінці рейок, автозчеплення і ін.)	Е-10Г2, Е-15Г5.	ОЗН-250У ОЗН-400У
2	Наплавлення штампів холодного штампування	Е-37Х9С2, Е-70Х3СМТ	ОЗШ-3, ЕН-60М
3	Наплавлення штампів гарячого штампування	Е-30В8Х3, Е-35Х12В3СФ	ЦШ-1 Ш-16
4	Наплавлення прошивних штампів гарячого штампування, а також металоріжучого інструменту	Е-90В10Х5Ф2 Е-08К16В7М5Х3СФ	ЦИ-2У ОЗИ-4
5	Наплавлення поверхонь ущільнювачів трубопровідної арматури для енергетики, нафтової, хімічної промисловості	Е-08Х17Н8С6Г Е-190К62Х29В5	ЦН-6М, ЦН-2
6	Наплавлення деталей, що випробовують сильні удари (залізничні хрестовини і т.п.), виготовлених із сталі Г13	Е-65Х11Н3 Е-65Х25Г13Н3	ОМГ-Н ЦНИИН-4
7	Наплавлення деталей, що випробовують удари	Е-95Х7Г5С Е-30Х5В2Г2СМЭ	12АН/ЛИВТ ТКЗ-Н
8	абразивний знос	Е-300Х28Н4С4 Е-110ОХ14В13Ф2	ЦС-1 ВСН-6
9	Наплавлення деталей, що піддаються переважно абразивному зношуванню	Е-320Х23С2ГТФ Е-320Х25С2ГФ	Т-620, Т-590

Таблиця 2.2 - Коротка характеристика суцільнотягнутих проволоч для наплавлення

Марка проволочи	Наплавлений метал		Типові об'єкти наплавлення
	Тип	Твердість	
1	2	3	4
Нп-30	А	НВ 160-220	Осі, шпинделі, вали
Нп-40	А	НВ 170-230	» » »
Нп-50	А	НВ 180-240	Натяжні колеса, скати візків, опорні ролики
Нп-65	А	НВ 220-300	Опорні ролики, осі
Нп -80	А	НВ 260-340	Колінчасті вали, хрестовини карданів
Нп -40Г	А	НВ 180-240	Осі, шпинделі, ролики, вали
Нп-50Г	А	НВ 200-270	Натяжні колеса, опорні ролики гусеничних машин
Нп -65Г	А	НВ 230-310	Колеса кранів, осі опорних роликів
Нп-10ГЗ	А	НВ 250-330	Залізничні бандажі, колеса кранів
Нп-30ХГСА	А	НВ 220-300	Обтискові прокатні вальці, колеса кранів
Нп-30ХЗВА	А	HRC 33-40	Трефи прокатних валків, деталі автозчеплення, шліцьові вали
Нп-30Х5	А	HRC 37-42	Прокатні валяння сортопрокатних станів
Нп-40ХЗГ2ВФ	А	HRC 38-44	Важконавантажені колеса кранів, ролики рольгангів
Нп -35Х2Г2В	А	HRC 37-42	Деталі, що випробовують удари і абразивний знос
Нп-5ХНМ Нп -5ХНТ Нп-5ХНВ	Н	HRC 40-50	Кувальні і вирубні штампи гарячого штампування, валяльно-кувальних машин
Нп-50ХФА	В	HRC 43-50	Шліцьові вали, колінчасті вали двигунів внутрішнього згорання
Нп-105Х		HRC 32-38	Штампи обрізів холодного штампування, вали змішувачів
Нп-Х14	Е	HRC 32-38	Поверхні ущільнювачів засувки для пари і води
Нп-3Х13	Е	HRC 38-45	Плунжери гідропресів, шийки

			колінчастих валів, штампи
Нп-4Х13	Е	HRC 45-52	Опорні ролики тракторів і екскаваторів, деталі транспортерів
Нп –45Х4В3Ф	Н	HRC 38-45	Валки листопрокатних і сортопрокатних станів, штампи гарячого штампування
Нп –45Х2В8Т	Н	HRC 40-46	Ножі для різання гарячого металу, пресовий інструмент
Нп–60Х3В10Ф	Н	HRC 42-50	Валки трубопрокатних і сортопрокатних станів, штампи для гарячого штампування

Проте умови експлуатації виробів і їх номенклатура надзвичайно різноманітна. Звести їх до невеликого числа груп можливо лише умовно шляхом схематизації, при цьому границі між групами важко визначити. Приналежність деталей до певної групи дозволяє лише орієнтовно оцінити придатність даного наплавленого металу для того чи іншого конкретного призначення. Групи, представлені в табл. 2.1 або 2.2, не охоплюють багатьох важливих видів наплавленого металу і типів деталей.

Більш прийнятною можна вважати класифікацію наплавленого металу за характерними групами запропоновану 12 комісією Міжнародного інституту зварювання в 70-ті роки (МІЗ) (табл. 2.3). І хоча даний проект так і не був узгоджений з міжнародною організацією по стандартизації ISO, закладені в ньому принципи можна розглядати як один з обґрунтованих підходів при виборі прийнятного матеріалу для наплавлення. На основі даних про структуру наплавленого металу і рекомендацій по вживанню, можна більш усвідомлено, приймати рішення про вибір матеріалу, ніж в разі «механічного» використання інформації про призначення типу наплавленого металу

Відповідно до цієї класифікації вибір матеріалів для наплавлення, залежно від умов роботи деталей, можна вибирати виходячи з наступного:

Матеріали типу А - нелеговані або низьколеговані сталі з вмістом менше 0,4 % С використовують, головним чином, для відновлення розмірів деталей і утворення підшару при подальшому наплавленні зносостійкими сплавами.

Таблиця 2.3 - Класифікація наплавленого металу за проектом МІЗ

Тип	Умовне позначення	Вміст елементів, %										Твердість, HRC*
		C	Mn	Cr	Ni	W	V	Mo	Co	Інші		
Нелеговані або низьколеговані сталі	A	≤0,4	0,5-3	0-3	0-3	-	-	0-1	-	-	-	40
	B	≥ 0,4	0,5-3	0-5	0-3	-	-	0-1	-	-	-	60
Аустенітні високомарганцеві сталі	C	0,5-1,2	11-16	0-1	0-3	-	-	0-1	-	-	-	
Аустенітні хромонікелеві сталі	D	≤ 0,3	1-8	13-30	5-25	-	-	-	-	0-1 Ti	0-1,5 Nb	40
Хромисті сталі	E	0,2-2,0	0,3-1,5	5-30	0-5	0-1,5	0-0,5	0-1	-	-	-	45
Швидкорізальні сталі	F	0,6-1,5	≤ 0,5	4-6	-	1,5-18	0-3	0-10	0-15	-	-	62
Високохромисті спеціальні чавуни	G	1,5-5	0-6	25-35	0-4	0-5	0-1	0-3	0-5	0-1,5 Ti	0-1,5 B	60
Хромовольфрамкові теплостійкі сталі	H	0,2-0,5	≤1,0	1-5	0-5	1-10	0,15-1,5	0-4	-	-	-	45
Кобальтові сплави з хромом і вольфрамом	N	0,7-3,0	≤0,4	25-33	0-3	3-25	-	0-3	30-70	≤6 Fe	-	40
Нікелеві сплави з хромом і бором	Q _a	≤ 1,0	-	8-18	65-85	-	-	-	1-1,5	2-5 Si	2-5 B	55
Нікелеві сплави з молибденом	Q _b	≤ 0,12	-	0-18	60-80	0-20	0,2-0,6	8-35	0-2,5	4-7 Fe	-	HB 200
Карбідні зернисті спечені сплави	P	≥3	≥2,0	-	-	≥45	-	-	-	-	-	≥ 67

* в робочому стані

Застосовують наступні способи наплавлення: ручну дугову штучними електродами, механізовану під флюсом і в захисних газах, рідше — електрошлакову. Типові склади наплавленого металу: 20ХГТ, 15ХГ2С, 20Х2Г2М, 25Х3Г2, 08Г, 08ГС і 15Г2С. Останні два склади отримують за допомогою стандартного зварювального дроту у поєднанні із звичайними флюсами АН-348-А, АН-60 і ОСЦ-45. Основні технологічні особливості наплавлення ті ж, що і при зварюванні, близьких по складу сталей.

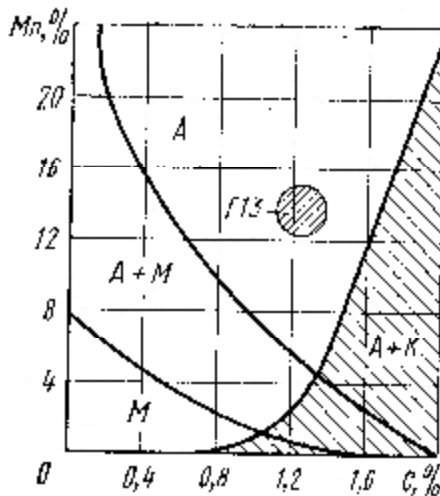
Особливості наплавлення. Наплавлення часто роблять на основний метал з підвищеним вмістом вуглецю (сталі 45, 50, 50Х) і сірки (35ЛК, і т.п.). У таких випадках щоб уникнути появи кристалізаційних тріщин необхідно використовувати прийоми наплавлення, що забезпечують зменшення долі основного металу. На мікроструктуру і твердість наплавленого металу, особливо у випадках комплексного легування хромом, нікелем і молібденом, робить вплив швидкість охолодження при температурах розпаду аустеніту. Надмірне збільшення швидкості охолодження може привести до часткового утворення мартенситу в пришовній зоні і наплавленому шарі. Це супроводжується збільшенням твердості і крихкості сплаву, не говорячи вже про можливість утворення тріщин. Навпаки, надмірне зменшення швидкості охолодження, наприклад при широкошаровому напавленні, обумовлює розпад значної частини аустеніту при високих температурах з утворенням перліту. В результаті знижуються твердість і зносостійкість наплавлення. При напавленні масивних деталей оптимальні властивості наплавленого шару досягаються при попередньому підігріванні до температури 200-250° С. При напавленні невеликих деталей для підігрівання досить теплоти дуги.

Метал групи В (нелеговані або низьколеговані сталі з вмістом більше 0,4 % С) використовують для дугового наплавлення посадочних місць різних валів, шийок колінчастих валів, а також при відновленні і зміцненні деталей ходової частини гусеничних машин. Типові склади наплавленого металу: 45Х5Г, 70Х3МН, 80Х4СГ, 60Х2СМ і ін.

Особливості наплавлення. Основну трудність при напавленні металу цього типа представляє підвищена схильність наплавленого шару до утворення кристалізаційних і холодних тріщин. Попереднє підігрівання до температури 350—400° С дозволяє в більшості

випадків уникнути тріщин. Якщо наплавлений метал підлягає механічній обробці, то виріб відпалюють, при цьому твердість знижується до HRC 20—25. Після механічної обробки слідує гартування до HRC 50—60. Метали 80X4СГ і 60X2СМ наплавляють відповідними електродами 13КН/ЛІВТ і ЕН-60М, а метали 45Х5Г і 70Х3МН — з використанням легуючого керамічного флюсу АНК-19 (дріт Св-08А) і металокерамічної стрічки ЛМ-70Х3МН.

Метал типу С - високомарганцевий аустенітний рекомендується для наплавлення деталей, що випробовують абразивний знос у поєднанні з сильними ударами. Типовим представником даного типу є сталь 110Г13, що містить близько 1,2 % С і 12 % Мп. В залежності від вмісту вуглецю і марганцю, а також швидкості охолодження з високих температур наплавлений метал набуває різної мікроструктури (рис. 2.1) і властивостей.



А – аустеніт; К – карбіди; С – сорбіт; М – мартенсит; П – перліт; Т – троостіт

Рисунок 2.1 – Структурна діаграма марганцевих сталей при швидкому охолодженні від температури 1000° С

При швидкому охолодженні з температур вище приблизно 950° С сталі, що містять 0,8—1,6 % С і 12—20 % Мп, набувають стабільної аустенітної структури і відрізняються високою пластичністю і міцністю. Завдяки високій розчинності вуглецю в твердому розчині (при великому вмісті марганцю) карбіди відсутні. У такому стані твердість наплавленого металу невелика - НВ 180—220.

Особливою властивістю такого наплавленого металу є здібність до зміцнення при холодній деформації завдяки значному підвищенню щільності дислокацій, тобто наклепу в результаті динамічного навантаження. Твердість в деформованій зоні зростає до 550 – 800 НВ. Вказані властивості (пластичність серцевини і висока твердість на робочій поверхні) можуть бути реалізовані за умови здобуття вихідної аустенітної структури і обов'язкової дії на робочу поверхню ударів і тиску, здатних викликати пластичну деформацію. За відсутності такого навантаження поверхневий шар не має які-небудь істотні переваги і зношується подібно до звичайної низьковуглецевої сталі. При повільному охолодженні відбувається розпад аустеніту і виділення карбідів цементитного типу по кордонах зерен. Такий наплавлений метал крихкий, схильний до тріщин і отколів. Виділяються карбіди і при нагріві. Тому наплавлений метал типа С не рекомендується для роботи при підвищених температурах, якщо потрібно зберегти їх пластичність.

Особливості наплавлення. Режими наплавлення сталей типу С вибираються з врахуванням розглянутих вище особливостей. Для того, щоб уникнути окрихчування наплавленого шару і пришовної зони (при наплавленні на сталь 110Г13), процес наплавлення необхідно вести з мінімальним тепловкладенням: малі сили струму і напруги дуги, вузькі валики, підвищена швидкість наплавлення, періодичне припинення процесу і зміна місця наплавлення. При наплавленні відкритою дугою, за інших рівних умов, забезпечується швидше охолодження валиків, чим при наплавленні під флюсом. Тому найбільшого поширення набуло наплавлення самозахисним порошковим дротом, наприклад ПП-АН105. Наплавлений метал додатково легований нікелем (3-4 %), при цьому збільшується стійкість аустеніту і з'являється можливість збільшити критичну швидкість охолодження. Частим дефектом є кристалізаційні тріщини, які виникають при підвищеному вмісті фосфору. Наплавлення стали 110Г13 на деталі з вуглецевих сталей застосовується рідше із-за відколів наплавленого шару.

Матеріали групи D - аустенітні хромонікелеві сталі застосовуються з метою нанесення шарів з високою стійкістю проти корозії на деталі, що працюють в агресивних середовищах при невеликих механічних діях (плунжери, корпуси і крильчатки насосів

для перекачування рідин, що не містять абразивних часток, деталі замочної і регулюючої арматури і т. п.).

Окрім високого вмісту хрому і нікелю вони додатково можуть бути леговані марганцем і містити незначну кількість титану або ніобію.

При наплавленні на вуглецеву сталь важливо забезпечити мінімальну долю основного металу і мінімальний вміст вуглецю в наплавленому шарі, якщо від нього вимагається підвищена стійкість проти межкусталітної корозії. Тому значне поширення знайшло широкошарове наплавлення під флюсом електродною стрічкою.

Металокерамічна стрічка, що виготовляється з чистих по вуглецю порошоків, дозволяє досягти при багат шаровому наплавленні мінімального вмісту вуглецю і високої стійкості шару проти межкусталітної корозії. Прикладом такої стрічки є металокерамічна стрічка ЛМ-00Х21Н9Г, вживана для наплавлення під пемзовидним флюсом АН-26 фланців, патрубків і судин хімічної і нафтохімічної апаратури, а також енергетичних пристроїв.

Наплавлений метал типа Е - хромисті сталі в залежно від вмісту вуглецю і хрому, має феритну, напівферитну і аустенітно-мартенситну мікроструктуру. При вмісті більше 1,0 % С і більше 10 % Сг в структурі з'являється карбідна евтектика (ледебурит). По своїй структурі і властивостям такі сталі наближаються до доевтектичних високохромистих чавунів.

Корозійностійкі хромисті сталі застосовують для наплавлення деталей газової і нафтової трубопровідної арматури, що працює при температурах до 400-450° С, плунжерів пресів і деяких видів штампів, а також для наплавлення камер проточного тракту гідротурбін. Для наплавлення трубопровідної арматури використовують порошоків дріт з внутрішнім захистом ПП-АН106, а для наплавлення камер гідротурбін - порошоків дріт ПП-АН138.

Штампи обрізів, а також поверхні ущільнювачів арматури наплавляють електродами НЖ-2 (тип ЕН-25Х12). При вмісті більше 0,2 % С наплавлений метал схильний до утворення тріщин. Тому застосовують попереднє і супутнє підігрівання до температури 300-350° С.

Ледебуритні сталі Х12М, Х12ВФ наплавляють під флюсом порошоківми дротами ПП-АН103 і ПП-АН104. Наплавлення сталей Х12, що містять 1,8-2,0 % С, зв'язане з відомими труднощами

унаслідок схильності наплавленого металу до утворення холодних і кристалізаційних тріщин. Якщо холодні тріщини вдається усунути підігріванням деталей до температури $400-550^{\circ}\text{C}$ і подальшим сповільненим охолодженням, то цього не завжди можна досягти відносно кристалізаційних тріщин.



Рисунок 2.2 - Структурна діаграма хромистих сталей

Кристалізаційні тріщини в ледебуритних сталях Х12 з'являються унаслідок виділення в процесі кристалізації легкоплавких карбідних евтектик. Тріщини не виникають за умови, якщо наплавлений метал містить 1,5-2,5 % С. При такому вмісті вуглецю кількість евтектики збільшується настільки, що вона вільно переміщається між дендритом аустеніту і може «заліковувати» тріщини. Таким чином, при наплавленні сталей Х12 на низьковуглецеву сталь необхідно прагнути до мінімальної долі

основного металу, інакше перший шар буде уражений кристалізаційними тріщинами через недостатню кількість карбідної евтектики, здатної «заліковувати» тріщини.

Вихідна твердість наплавленого металу типу X12 порівняно невисока і складає HRC 40-44, що пояснюється наявністю в структурі великої кількості залишкового аустеніту. Аустеніт даного складу здатний до перетворення на мартенсит деформації в умовах абразивного зношування. Завдяки цьому мікротвердість поверхні тертя може зрости до 12 ГПа, що забезпечує високу зносостійкість. Проте у багатьох випадках, наприклад, при наплавленні кромek ножів, ножиць гільйотин, або вирубних штампів необхідна висока вихідна твердість. У таких випадках твердість можна збільшити високим відпуском при температурі 500-550° С (до HRC 55-60). Для можливості механічної обробки наплавлений виріб відпалюють.

Відпал заготовок слід виконувати по ізотермічному циклу: нагрів до температури 870-900° С, витримка 1,0-2,0 год, охолодження з піччю до температури 700° С, витримка 5-8 год, подальше охолодження на повітрі. Твердість після такого відпалу складає HRC 25-29. Гартування проводять на первинну або вторинну твердість з подальшим відпуском по режимах для інструментальних штампових сталей типу X12.

Матеріали групи F - швидкорізальні сталі застосовують переважно при виготовленні біметалічного ріжучого інструменту.

Класичний склад швидкорізальної сталі, наприклад, марки P18, вибраний, виходячи з міркувань не лише високої червоностійкості, але і хороших технологічних властивостей (можливості кування, плющення і т. п.).

Проте у зв'язку з дефіцитністю і високою вартістю вольфраму застосування сталі цього типа все більше обмежено. Тому при наплавленні, коли немає необхідності збереження хорошої пластичності металу в процесі плющення або кування, з'являються додаткові можливості в зміні складу, в порівнянні з класичним, для здобуття максимальної червоностійкості і зносостійкості наплавленого металу. Наприклад, збільшення вмісту ванадію і вуглецю в швидкорізальній сталі дозволяє збільшити її червоностійкість, але це погіршує технологічні властивості сталі.

Наплавлення швидкорізальних сталей пов'язане з труднощами із-за схильності наплавленого шару до утворення тріщин. Для

усунення тріщин необхідні попереднє і супутнє підігрівання заготовок до температури 500-600° С і подальше їх охолодження в печі. Наплавлення виробляють в канавки на заготівці, розташовані в місцях ріжучих кромek багатолезового інструменту. Добрі результати можуть бути досягнуті при напавленні порошковим дротом з внутрішнім захистом або в захисних газах.

Проте із-за труднощів механічної обробки напавленого шару і його неоднорідності по складу і властивостям застосування напавленого інструменту все більше обмежене. У багатьох випадках доцільніше використовувати лезвийний інструмент із змінними вставками з твердих сплавів.

Матеріали групи G в основному представляють собою високохромисті чавуни і до теперішнього часу є найбільш поширеним типом напавленого металу, що використовується для зміцнення деталей, які піддаються абразивному, газо- і гідроабразивному зносу.

Високохромисті чавуни використовують для напавлення зубів екскаваторів, ножів бульдозерів, деталей завантажувальних пристроїв доменних печей і т.п. Для напавлення металу цього типу розроблено багато складів і різновидів напавлювальних матеріалів. Одним з «родоначальників» матеріалів цього класу є сормайт (тип ЕН-У30Х28С4Н4-50). Метал цього типу можна напавити штучним електродом ЦС-1, порошковим дротом і стрічкою ПП-АН101, ПЛ-АН10. Можливе використання також гранульованих порошків і ін. Проте з появою борвміщуючих напавлювальних матеріалів сплави типу сормайт застосовуються рідше.

Шар напавлений високохромистими чавунами схильний до утворення холодних тріщин, попередити які, особливо при напавленні крупних деталей, дуже важко. Тому в більшості випадків напавлені деталі експлуатують з тріщинами в напавленому шарі. Оскільки ці тріщини найчастіше не переходять в основний метал і мало впливають на абразивну зносостійкість і загальну працездатність деталі, то цей дефект часто сповна допустимий.

Проте при гідро- і газоабразивному зношуванні тріщин, розташованих уздовж потоку з абразивними частками, є осередком руйнування напавленого шару.

Високохромисті чавуни мають при заевтектичній структурі підвищену абразивну зносостійкість. Тому при напавленні таких

чавунів на низьковуглецеву сталь важливо прагнути до мінімальної долі основного металу, інакше наплавлений шар із-за розбавлення основним металом міститиме мало хрому і вуглецю і матиме доєвтектичну або евтектичну структуру (рис. 2.3) із зниженою зносостійкістю.

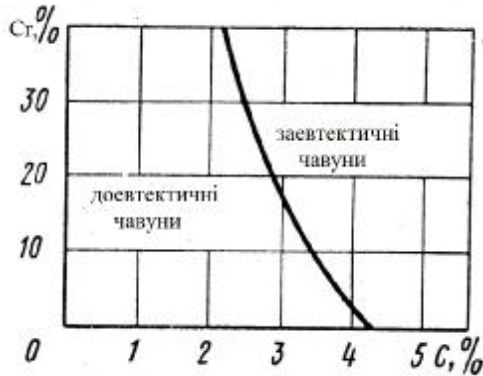


Рисунок 2.3 – Зміна евтектичної концентрації вуглецю із збільшенням вмісту хрому

При наплавленні заєвтектичних сплавів порошковою стрічкою для зменшення долі основного металу, використовують поперечні коливання електроду і помірні струми на двох дугах, що одночасно горять.

Наплавлення деталей складної форми і невеликих розмірів виконують шланговими напівавтоматами порошковими дротами з внутрішнім захистом ПП-АН124, ПП-АН125, ПП-АН170. При наплавленні цими дротами кращі результати по формуванню валиків і зменшенню долі основного металу досягаються при поперечному коливанні електроду з розмахом 20-40 мм і вильоті електроду 40-70 мм. Силу струму вибирають залежно від розмірів і форми деталі найчастіше рівною 300-350 А, але можливе наплавлення і на струмах силою до 500 А. Струм постійний, зворотньої полярності. При наплавленні на змінному струмі зростають витрати на розбризкування.

Хромовольфрамкові теплостійкі сталі типу Н використовують для наплавлення деталей, схильних до дії великого тиску і теплових. Найбільшого поширення набуло наплавлення порошковими дротами

ПП-3Х2В8 і ПП-25Х5ФМС під флюсом АН-20 стосовно відновлення і зміцнення сталевих валків гарячого прокату.

Для попередження тріщин, зниження внутрішніх напружень і здобуття оптимальної структури наплавленого металу необхідне попереднє підігрівання деталей до температури 350-400° С. Найбільш зручний, індукційний нагрів струмами промислової частоти; масивні деталі діаметром понад 650 мм доцільніше повільно нагрівати в печі. Режим наплавлення: $I_{зв} = 300-350 \text{ А}$, $U = 28-30 \text{ В}$, крок 6-8 мм, швидкість наплавлення 36-42 м/год. Після наплавлення забезпечують сповільнене охолодження в коробі, що утеплюється, а для масивних деталей відпуск при температурі 520-540° С і охолодження разом з пічкою.

Наплавлення деталей складної форми і глибоких внутрішніх поверхонь виконують порошковим дротом з внутрішнім захистом (ПП-АН130, ПП-2Х4В3Ф-0 і ін.). Найбільш частим дефектом при цьому є пори в наплавленому шарі, що пов'язано з недотриманням режимів наплавлення. Наплавлення порошкової проволокою з внутрішнім захистом вимагає строгого дотримання режимів, що рекомендуються для даного дроту, особливо заданої напруги дуги.

Кобальтові сплави з хромом і вольфрамом типу N, так звані стеліти, відрізняються чудовими експлуатаційними властивостями: вони здатні зберігати твердість при високих температурах, стійкість проти корозії і ерозії, а також мають відмінну зносостійкість при сухому терті метал по металу. Сам по собі кобальт не має високу жароміцність, цю властивість додають сплавам присадки хрому (25-35 %) і вольфраму (3-30 %). Важливим компонентом є і вуглець, який утворює з вольфрамом і хромом спеціальні тверді карбіди, що поліпшують опір абразивному зносу.

Кобальтовими сплавами наплавляють клапани двигунів внутрішнього згорання, поверхні ущільнювачів парової арматури надвисоких параметрів, матриці для пресування кольорових металів і сплавів і ін. При напавленні необхідно прагнути до мінімального переходу заліза з основного металу в наплавлений, інакше властивості останнього різко погіршуються. Наплавлений метал схильний до утворення холодних і кристалізаційних тріщин, тому наплавлення ведуть з попереднім і інколи з супутнім підігріванням деталей.

Найбільш важливими особливостями технологічного процесу наплавлення кобальтових сплавів є забезпечення мінімальної доли

основного металу і дотримання необхідних термічних умов. Оскільки необхідно застосовувати підігрівання деталей до температури 600-700° С, то доля основного металу велика (до 30 %), і для здобуття мінімального вмісту заліза наплавлення доводиться виконувати в три шари. Це збільшує витрату вельми дорогого наплавлювального матеріалу і підвищує трудомісткість робіт.

Багато труднощів усуваються при плазово-порошковому напавленні з використанням гранульованих порошків. Завдяки особливостям цього способу напавлення доля основного металу не перевищує 10 % і заданий хімічний склад напавленого металу досягається вже в першому шарі.

Гранульовані порошки, щоб уникнути утворення пір і шлакових включень, повинні містити не більше 0,08 % кисню. Як основний метал при напавленні кобальтових сплавів служать хромонікелеві корозійностійкі сталі, жароміцні сплави на нікелевій основі, а також низьколеговані сталі.

Нікелеві сплави з хромом і бором типу Q зберігають високу твердість при нагріві до температури 600-700° С, мають жаростійкість до температури 950° С і високу корозійну стійкість в багатьох агресивних середовищах. Ці сплави застосовують для напавлення і металізації плунжерів водяних і кислотних насосів, поверхонь ущільнювачів трубопровідної арматури для паропроводів, випускних клапанів дизельних двигунів, прес-форм для виготовлення скляних виробів і т.п.

Використовують переважно плазово-порошкове напавлення. Плазове напавлення з присадкою порошку ПГ-ХН80СР2 виконують без підігрівання. При напавленні з присадкою порошків ПГ-ХН80СР3 і ПГ-Н80СР4 для запобігання тріщин необхідне попереднє підігрівання відповідно до температур 320-380 і 380-450° С. Режими плазово-порошкового напавлення приблизно ті ж самі, що і для кобальтових сплавів, але у зв'язку з нижчою температурою плавлення присадних порошків силу струму дуги прямої дії встановлюють на 20-25 % менше. При напавленні можливі дефекти у виді пір і шлакових включень. Це в більшості випадків викликано підвищеним вмістом в присадних порошках кисню. Ці дефекти відсутні, якщо порошок містить менше 0,12 % кисню.

Нікелеві сплави з молібденом типів Qa і Qв мають високу жароміцність, хорошу стійкість проти термічної втоми в умовах

великого числа теплосмін, мало схильні до утворення тріщин. У зарубіжній практиці їх використовують для наплавлення контактних поверхонь конусів і чаш доменних печей (сплав хастелой). Подібні властивості наплавленого металу забезпечує сплав інконель, що наплавляється металокерамічною стрічкою ЛМ-ХН70ГБМТ під флюсом АН-28.

Карбідні сплави групи Р завдяки високому вмісту твердих карбідів вольфраму відрізняються особливо високою стійкістю проти абразивного зношування. Цими сплавами наплавляють буровий інструмент, деталі ріжучих органів землерийних машин, деталі авантажувальних пристроїв доменних печей.

Карбідні сплави, вірніше карбідні композиції, характерні тим що вони не мають строго певного хімічного складу і при їх формуванні карбід вольфраму не кристалізується з розплаву (подібно, наприклад, карбідній фазі в сплавах типа G), а вводиться в сплав-зв'язку у виді, заздалегідь приготованих, зерен потрібного розміру і форми. Знос карбідних композицій протікає, як правило, вибірково: матриця сплаву зношується швидше і виступаючі зерна карбідів сприймають на себе основне навантаження.

Технологія і техніка наплавлення карбідних композицій повинні забезпечувати введення в зварювальну ванну часток зносостійкої фази визначеного розміру і форми, причому ці частки в мінімальній мірі мають розчинятися в сплаві-зв'язці і не зазнавати небажаних перетворень в результаті температурної дії зварювального циклу.

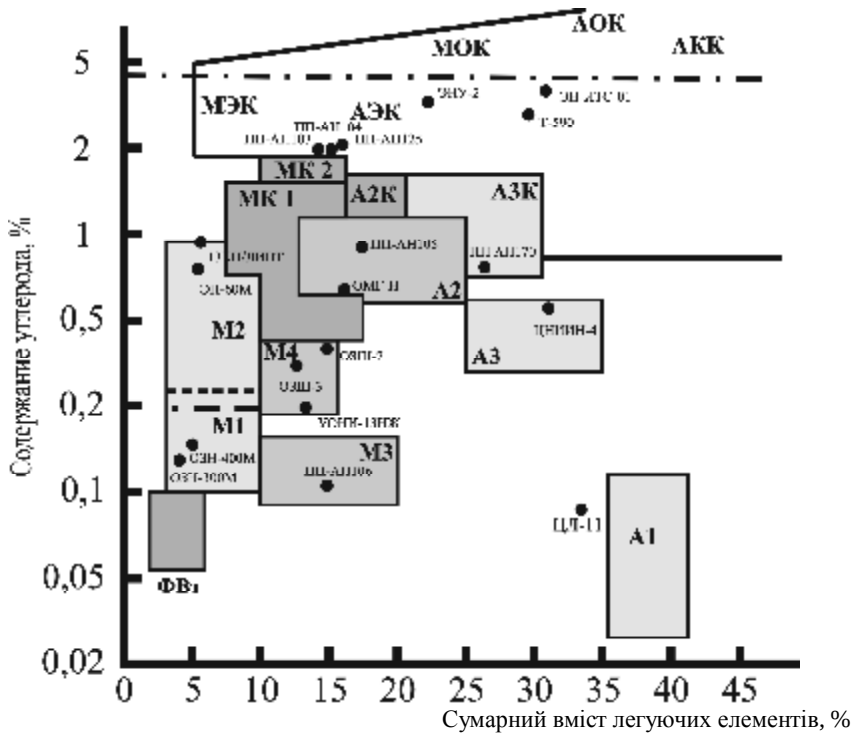
Досить поширеним є наплавлення литим карбідом вольфраму (релітом), який є евтектичним сплавом карбідів WC і W_2C . Реліт випускають у виді зерен різного розміру (0,2-3 мм) і у виді сталевих трубок, заповнених карбідом (трубчасто-зернистий сплав, ТЗ). У останньому випадку маса оболонки складає близько 20 %, карбідних зерен - близько 60 %. Зважаючи на дефіцитність вольфраму ведуться інтенсивні дослідження по використанню карбідів менш дефіцитних металів і інших тугоплавких з'єднань високої зносостійкості.

Наплавлення бронзи і міді на сталь з мінімальним проплавленням основного металу можна отримати і за допомогою електрошлакового процесу. Спеціальні флюси на основі фторидів дозволяють підтримувати стійкий електрошлаковий процес при температурах 1100-1300° С, тобто нижче за температуру плавлення сталі.

Міжнародним інститутом зварювання запропонована система класифікації сплавів на основі заліза для зміцнюючих і відновних наплавлень, що дозволяє обґрунтовано підбирати для конкретної сфери використання наплавлювальні матеріали, у тому числі покриті електроди, що забезпечують заданий комплекс службових властивостей наплавленого виробу. Крім того, використання системи класифікації сплавів на основі заліза, що встановлює зв'язок між хімічним складом і службовими характеристиками наплавленого металу, дозволяє істотно полегшити вирішення проблеми створення нових і удосконалення існуючих наплавлювальних матеріалів.

Дана класифікація побудована на тому, що вибір зварювальних матеріалів можна істотно полегшити, систематизувавши чинники, що впливають на працездатність наплавленого виробу, шляхом виділення найбільш значимих, стосовно конкретних умов експлуатації. Мікроструктура наплавленого металу є основним чинником, що обумовлює технічні характеристики наплавленої поверхні і виробу в цілому. У зв'язку з цим розроблена класифікація зміцнюючих і відновних наплавлювальних матеріалів на основі їх композицій і мікроструктур (рис. 2.4).

Багато властивостей матеріалів істотно залежать від їх структурного стану. Однієї з найбільш структурно - чутливих характеристик є опірність зношуванню. Різноманіття можливих поєднань «матеріал – умови зношування» обумовлює існування ряду різних підходів до вибору матеріалів і їх структурного стану. Однозначних рекомендацій не існує. У той же час деякі дані про вплив структурних складових на зносостійкість можна вважати фундаментальними і з упевненістю використовувати при виборі матеріалів і призначенні способів і технологічних режимів їх нанесення. Зокрема при роботі в умовах абразивного зношування ферит дуже слабо чинить опір дії абразиву. Не можна, також, чекати значного підвищення зносостійкості при забезпеченні в структурі великої кількості твердих карбідів, що знаходяться у феритній матриці, оскільки ферит погано утримує карбіди від викришування. В той же час карбіди в аустенітно-мартенситній або аустенітній матриці різко збільшують зносостійкість.



ФВ₁ - ферит, зміцнений вторинною фазою;

М1 - мартенсит тип I (низьковуглецевий низьколегований сплав);

М2 - мартенсит тип II (високівуглецевий низьколегований сплав);

М3 - мартенсит тип III (низьковуглецевий високолегований сплав);

М4 - мартенсит тип IV (середньовуглецевий високолегований сплав);

МК1 - мартенсит, зміцнений карбідами типу I;

МК2 - мартенсит, зміцнений карбідами вкорінення;

МЭК - мартенсит, зміцнений карбідами евтектики;

МОК - мартенсит, зміцнений основними карбідами;

А1 - АФ - аустеніт типу I (Cr, Ni) + аустеніт + ферит;

А2 - аустеніт марганцевий тип II (високівуглецевий середньолегований сплав);

А3 - аустеніт хромомарганцевий тип I (середньовуглецевий високолегований сплав);

А2К, А3К - аустеніт типу II і III, зміцнений карбідами;

АОК - аустеніт, зміцнений основними карбідами;

АЕК - аустеніт, зміцнений карбідами евтектики;

АКК - аустеніт, зміцнений основними карбідами, суперкарбідами і карбідами евтектики.

Рисунок 2.4 - Класифікація зміцнюючих і відновлюючих наплавлювальних матеріалів на основі їх композицій і мікроструктур

Але при цьому їх кількість може бути обмежена умовами забезпечення необхідного рівня пластичності, або інших властивостей наплавленого металу і т.д. Тому необхідно уміти, як прогнозувати його структуру залежно від хімічного складу, умов охолодження, або режимів подальшої термообробки, так і мати методику визначення структури і властивостей.

Основні характеристики і сфери застосування наплавлювальних сплавів груп М1-М4 (табл. 2.4), МК1-МК2 (табл. 2.5), А1, АФ, А2, А3 (табл. 2.6).

Таблиця 2.4 - Основні характеристики і сфери застосування наплавлювальних сплавів груп М1-М4

Показник	Структурна група наплавлювальних матеріалів			
	М1	М2	М3	М4
1	2	3	4	5
Хімічний склад, %	0,15...0,4 С, Mn + Cr + Mo ≤ 6,0 або Mo + W + V ≤ 10 (інструмент)	0,3...1,0 С, Mn + Cr + Mo ≤ 6,0 або 0,3 - 0,7 С, Cr + W + Mo + V ≤ 10	0,02...0,2 С, Cr + Ni + Mo = = 10,0...20,0	0,3...0,5 С, Cr + Mn + Si = 10,0...15,0
Мікроструктура	Мартенсит в стані після зварювання	Мартенсит або мартенсит + залишковий аустеніт	Мартенсит 100 % або мартенсит + залишковий аустеніт	Мартенсит 100 %
Твердість	275... 450 НВ в стані після зварювання залежно від вмісту С. Після відпуску при $T \geq 500^{\circ}\text{C}$ твердість знижується	500 ... 600 НВ в стані після зварювання залежно від вмісту С і залишкового аустеніту. Відпуск мартенситу при 750°C протягом 2,5 год	35...45 HRC. Відпуск мартенситу при $T \geq 550^{\circ}\text{C}$, твердість знижується	55...60 HRC. Відпуск мартенситу при $T \geq 550^{\circ}\text{C}$, твердість знижується
Опір	Задовільне	Задовільне, у	Задовільне	Задовільн

ударним навантаженням		ряді випадків чудове		у, ряді випадків чудове
Опір при терті метал по металу	Теж	Теж	Теж	Задовільне
Опір абразивному зношуванню	Від задовільного до чудового залежно від твердості	Задовільне	Знижене	Теж
Опір корозії	Не призначені для роботи в корозійному середовищі		Не схильні до корозії в морській воді при $T \leq 100^{\circ} \text{C}$	
Опір підвищеним температурам	Задовільне при $T \leq 500^{\circ} \text{C}$ для інструментальних сталей, легированих Мо, W, V	Задовільне при $T \leq 500^{\circ} \text{C}$ для інструментальних сталей	Задовільне	Задовільне
Обробка ріжучим інструментом	Задовільне	Задовільне після відпуску при 750°C протягом 2,5 год	Задовільне	Задовільне після відпуску
Сфери застосування	У виробках, схильних до значних навантажень і середнього абразивного зношування. Штампи, молоти, ножиці	У виробках, схильних середнім ударним навантаженням і абразивній дії. Штампи, ножиці для гарячої обробки металу	У виробках, що працюють в умовах тертя метал по металу в слабкому корозійному середовищі в умовах теплосмін	Молоти, лопатки змішувачів, зуби ковшів, зірочки конвейерів і ін.

Таблиця 2.5 - Основні характеристики і сфери застосування наплавлювальних сплавів груп МК1-МК2

Показник	Структурна група наплавлювальних матеріалів	
	МК1	МК
Мікроструктура	Мартенсит з сіткою карбідів в стані після зварювання. Можлива невелика кількість залишкового аустеніту	Мартенсит з дрібнодисперсними карбідами Ti і Nb
Твердість	55...62 HRC в стані після зварювання. Відпуск при 750° С протягом 4,5 год. призводить до зниження твердості	55 HRC в стані після зварювання
Опір ударним навантаженням	Високий	Високий
Опір при терті метал по металу	Високий	Сплави призначені для роботи в умовах абразивного зношування
Опір абразивному зношуванню	Сплави, не призначені для роботи в умовах абразивного зношування	Високий
Опір підвищеним температурам	Задовільне при $T \leq 550^{\circ} \text{C}$. Знижена опірність термічним ударам	Знижений
Обробка ріжучим інструментом	Лише зачистка абразивним інструментом	Можлива після відпуску при 750° С протягом 4,5 год
Сфери застосування	Інструмент для гарячої обробки металу ($T \leq 550^{\circ} \text{C}$); ножі для вирубування дроту, ріжучий інструмент і ін.	Молоти, зуби ковшів екскаваторів, ножі змішувачів, ножі для обробки деревини, сільгоспінструмент, (ударні навантаження в абразивному середовищі)

Таблиця 2.6 - Основні характеристики і сфери застосування наплавлювальних сплавів груп А1, АФ, А2, А3

Показник	Структурна група наплавлювальних матеріалів		
	А1, АФ	А2	А3
Хімічний склад, %	0,02 ... 0,15 С, $\text{Cr} + \text{Ni} \leq 40$	0,7 ... 1,2 С, $\text{Mn} + \text{Cr} + \text{Ni} = 13...25$; зазвичай 12 ... 14 (Mn + Ni) та (або) Ni	0,5 ... 0,7 С, $\text{Mn} + \text{Cr} = 25...35$
Мікроструктура	Аустеніт (А1) або аустеніт + ферит (АФ). Термічна обробка небажана	Аустеніт або аустеніт, зміцнений карбідами. Термічна обробка приводить до окрихчування	Аустеніт. Термічна обробка небажана
Твердість	Низька, але не є службовою характеристикою	Близько 200 НВ після зварювання	Близько 200 НВ після зварювання
Опір ударним навантаженням	Високий	Високий	Високий
Опір при терті метал по металу	Низький, але не є службовою характеристикою	Високий	Високий
Опір абразивному зношуванню	Не є службовою характеристикою	Високий. Задовільний після наклепу в процесі роботи	Високий. Задовільне після наклепу в процесі роботи
Корозійна стійкість	Висока стосовно різних корозійних середовищ, включаючи укр. агресивні	Не є службовою характеристикою	Висока при вмісті 10...15 % Cr
Опір високим температурам	Чудове	Теж	Не є службовою характеристикою
Обробка	Задовільна при	Утруднена	Незадовільна

ріжучим інструментом	відповідних параметрах інструменту	унаслідок зміцнення при роботі	унаслідок зміцнення при роботі
Сфери застосування	Наплавлення сталей типу Х25Н13. Виконання буферних шарів між основним металом і робочим високовуглецевим високолегованим шаром, як правило, схильним до окрихчування. Не рекомендується застосовувати як буферний шар під наплавлення групами М1-М4, МК1 і МК2	Наплавлення виробів, що працюють в умовах тертя метал по металу або абразивного зношування у поєднанні з ударними навантаженнями. Важко навантажені вузли розмельного устаткування, молоти, залізничні хрестовини. Ремонт виробів з Мп-сталей, наплавлення буферних шарів	Вироби, що працюють в умовах високих ударних навантажень і тертя метал по металу. Важко навантажені елементи машин, молоти, залізничні хрестовини. Ремонт виробів з Мп-сталей, наплавлення буферних шарів

3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

3.1. Особливості формування структури металу в процесі наплавлення в порівнянні з гартуванням в середовищах, що охолоджують (вода, масло).

3.2. Основні можливі типи металевої матриці наплавленого металу.

3.3 Карбіди і інші основні типи зміцнюючої фази в наплавленому металі. Морфологічні ознаки.

3.4. Вплив легування на температуру поліморфних перетворень (інтервал існування γ -області на діаграмі Fe-C – легуючий елемент.)

3.5. Основні типи перетворень в наплавленому металі при повільному і швидкому охолодженню і нагріві.

3.6. Вплив легуючих елементів на стійкість аустеніту при охолодженню до проміжних перетворень (перлитному і ін.).

3.7. Мартенситні і бейнітні перетворення. Морфологічні ознаки. Вплив легуючих елементів на температуру початку мартенситного перетворення.

3.8 Залишковий аустеніт, стабільний, метастабільний.

3.9. Метод визначення мікротвердості. Переваги і недоліки в порівнянні з іншими методами визначення твердості.

3.10 Прогнозування структури по хімічному складу (за завданням викладача).

4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ

1. Зразки металу наплавленого стандартними електродами і порошковими дротами (табл. 4.1).
2. Набор шліфувальних шкур.
3. Реактиви.
4. Прилад ПМТ-3.
5. Мікроскоп NU-2.
6. Прилад для виміру твердості за Роквеллом.

Таблиця 4.1

№ п/п	Марка електродів	Тип наплавленого металу	Твердість HRC _e	Мікротвердість Н _{0,5} , ГПа
1	АНО-4	Сталь 10	-	2,5
2	13КН-ЛИВТ	80Х4С	47-51	7,5
3	Т-590	320Х25С2ГР	55-58	8,7
4	ОЗН-300М	15Г3С1	21-23	5,0
5	ОЗЛ-8	07Х20Н9	-	2,6
6	ОЗШ-3	37Х9С2	56-58	7,9
7	ОЗН-6	50С4Г3Х2Р	57-59	7,6
8	ЗНГ-13М2	110Г13	16-20	5,4
9	УОНИ-13НЖ	20Х13	47-50	6,0
10	ЭН-60М	70Х3СМТ	58-60	8,2
11	ЭН-ИТС-01	350Х33Р	54-56	7,5
12	ОЗШ-7	40Х11С3М	57-61	7,8
13	ОЗН-400М	17Г4С1	23-24	2,7
14	ЭНУ-2	350Х15Г3Р1	55-57	8,9
15	ВСН-6	110Х14В13Ф2	62-66	9,3
16	ОМГ-Н	65Х11Н3	27-29	7,0
17	ОЗИ-6	110Х4М7Ф2В2С2ТЮ	60-63	8,9
18	ОЗИ-3	90Х4М4ВФ	58-63	8,0
19	ЦНИИН-4	Х14Г14Н3Т	16-20	3,2

5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

При виконанні роботи не допускати можливості нанесення травм при випадковому падінні зразків чи нанесенні подряпин їх гострими кромками.

6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

6.1. Заповнюється 1 і 2 стовпці таблиці.

Наплавлений матеріал	Тип наплавленого металу	Очікувана структура	Твердість, HRC	Мікротвердість, Н ₅₀ , ГПа	Тип металу матриці	Тип зміцнюючої фази	Очікувана відносна зносостійкість

6.2. На підставі даних про вплив хімічних елементів на процеси перетворень і структуру прогнозується структура деяких наплавлень (по вказівці викладача) і заповнюється стовпець 3.

6.3. Визначається твердість HRC наплавленого металу

6.4. На прикладі 1-2 зразків освоюється методика виготовлення шліфів.

6.5. Вивчається структура наплавлень.

6.6 Визначається мікротвердість.

6.7. З використанням відомих уявлень про вплив структури і твердості на опірність абразивному зношуванню прогнозується відносна зносостійкість декількох матеріалів (вказує викладач) наплавленого металу (на якісному рівні).

7 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Найменування і мета роботи.
2. Коротке обґрунтування власного прогнозу структур.
3. Опис структур наплавленого металу з вказівкою основних ознак структурних складових і поясненнями причин підвищеної або низької твердості.
4. Заповнена таблиця 6.1.
5. Обґрунтування припущень про рівні відносної зносостійкості.
6. Висновки.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Грибков Э. П. Изготовление порошковой плющенко для восстановительной наплавки / П. Э. Грибков, А. В. Шевченко // Вестник двигателестроителя. № 4. – 2006. – С. 13.
2. Зварювальні матеріали для зварювання сталей і чавуну (електроди, флюси, дріт). Довідник під ред. В.Н. Горпенюка. - К: Наукова думка, 1994. - 622 с.
3. Макаренко Н. А. Исследование процесса плазма-миг наплавки с применением порошковой плющенко и разработка наплавочного материала для восстановления деталей машин // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. № 2 (38), 2016. - С. 166-170.
4. Наплавочные материалы стран-членов СЭВ. Каталог. Под ред. И. И. Фрумина, В. Б. Еремеева - К.-М.: Международный центр научно-технической информации, 1979. – 619 с.
5. Петров Г.Л. Сварочные материалы. - Л.: Машиностроение. 1972. - 279 с.
6. Порошковые проволоки для электродуговой сварки. Каталог-справочник. Под редакцией Походни И.К. - К.: Наукова думка, 1980. – 180 с.
7. Походня И.К., Альтер В.Ф., Шлепаков В.Н. и др. Производство порошковой проволоки. – К.: Вища школа, 1980. – 231 с.
8. Сварка и свариваемые материалы. Справочник. Под ред. В.Н. Волченко – М.: Металлургия. – Т.1. – 1991. – 527 с.
9. Сварочные материалы для дуговой сварки Т. 1. Под редакцией Потапова Н.Н. – М: Машиностроение, 1989. - 544 с.
10. Тархов Н.А., Сидлин З.А., Рахманов А. Д. Производство металлических электродов. – М.: Высшая школа, 1986. - 288 с.
11. Тылкин М.А. Справочник термиста ремонтной службы. – М.: Металлургия, 1981. – 648 с.
12. Хасуи А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки. – Пер. с яп., В. Н. Попова; Под ред. В. С. Степина, Н. Г. Шестеркина. — М.: Машиностроение, 1985. — 240 с.