

тріщиностійкості і зносостійкості засипних апаратів є важливою науково-технічною проблемою.

Ключові слова: засипний апарат, аргонодугове наплавлення, вплив концентрації дуги, подрібнення мікроструктури.

Стаття надійшла 28.04.2024 р.

УДК 621.179.92

doi.org/10.31498/2522-9990272024303160

Зусін А.М.

ВПЛИВ РЕЖИМІВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА СТРУКТУРУ ТА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ РОЗРОБЛЕНИМИ ПОРОШКОВИМИ ДРОТАМИ З АЗОТОМ

Переривання роботи машин через пошкодження або знос компонентів, обмежує тривалість нормальної експлуатації та призводить до простоїв. Потрібні додаткові витрати на виготовлення та ремонт запасних частин. Експлуатаційна надійність та довговічність багатьох деталей машин залежить від їх міцності, зносостійкості [1].

Багато деталей машин піддаються поверхневому зміцненню для підвищення твердості, межі витривалості та зносостійкості поверхневого шару. Існує три основні методи поверхневого зміцнення: поверхнєве зміцнення, хіміко-термічна обробка та зміцнення пластичною деформацією [2].

У цій роботі досліджено можливість отримання залишкового аустеніту з використанням різних режимів термічної обробки, а також вплив мікроструктури та її метастабільності на зносостійкість. Фазовий склад, метастабільність аустеніту та механічні властивості цементованих карбідо-сталей можна контролювати шляхом регулювання температури відпуску.

В останні роки багато вчених продемонстрували позитивний вплив залишкового аустеніту, що утворюється в поверхневому шарі та самозміцнюється під навантаженням, на зносостійкість і втомну міцність [3].

Одним з найважливіших напрямків сучасного зварювання є створення наплавних матеріалів з метастабільними структурами, які здатні само організовуватися під впливом зовнішніх факторів.

Вони можуть адаптуватися до умов навантаження і мають значно вищі властивості. Дослідження в цій галузі розпочалися в середині минулого століття І.М. Богачовим та Р.І. Минцем. Вони висунули і реалізували надзвичайно плідну ідею використання мартенситного перетворення під навантаженням в процесі випробування механічних властивостей і працездатності спеціальних сталей.

Сплави з метастабільним аустенітом мають підвищену стійкість до гідроабразивного зносу, абразивного, ударного, сухого тертя та втомного навантаження. Ці сплави дозволяють досягти високих рівнів механічних властивостей. Це пов'язано з тим, що на виникнення мартенситного перетворення під навантаженням витрачається більша частина зовнішньої енергії і відповідно менша частка використовується на руйнування. Розвиток мартенситного перетворення призводить не тільки до зміцнення, але і до релаксації мікронапружень, що покращує мікро об'єм і характеристики сплаву. Цьому також сприяє динамічне деформаційне старіння. [4].

Ключові слова: порошковий дріт, аустеніт, азот, зносостійкість, легування, дугове наплавлення, карбіди, нітриди, термічна обробка, відпуск.

Постановка проблеми. Вивчена можливість підвищення зносостійкості наплавленого металу отриманого після наплавлення розробленими порошковими дротами 10X19H3Г10АТ за рахунок регулювання ступеня метастабільності $A_{\text{зал}}$ і оптимізації кінетики $\gamma_{\text{ост}} \rightarrow \alpha'$ ДМПЗ за рахунок варіювання температури відпуску після наплавлення .

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При вмісті вуглецю 0,1-0,7 % можна отримати необхідні технічні властивості та високу зносостійкість, що було підтверджено в попередніх дослідженнях [5]. З іншого боку, легування металу хромом, марганцем і кремнієм може ефективно впливати на формування металу і регулювати фазовий склад, співвідношення між мартенситом і метастабільним аустенітом. Хром зміцнює аустеніт і мартенсит за рахунок утворення карбідів, надаючи металу корозійну стійкість [6]. Марганець є аустенізуючим агентом, і збільшення його кількості може знизити собівартість замість нікелю[7].

З метою додаткового зміцнення наплавленого металу за рахунок утворення в ньому карбонітридів та нітридів [8,9] необхідно вводити в невеликих кількостях азот, який також стабілізує вплив на аустеніт.

Мета дослідження. Метою роботи є вивчення впливу режимів термічної обробки на структуру та зносостійкість наплавленого металу розробленими порошковими дротами з азотом.

Основний матеріал дослідження. На основі наведеного аналізу та необхідних властивостей наплавленого металу були запропоновані порошкові дроти наступних марок ПП-Нп-10X19H4Г10, ПП-Нп-10X19H3Г10АТ остання з різним вмістом азоту. В якості еталона для порівняння використовувався порошковий дріт ПП-Нп-Х20Н10Г6, даний дріт широко використовується в промисловості для відновлення та зміцнення деталей, що працюють в умовах абразивного та ударно-абразивного зношування. Склад наплавленого металу експериментальними дроти відповідає маркам наплавленого металу та його хімічному складу, наведеному в табл. 1. Азот введений до складу шихти порошкового дроту у вигляді азотованого феромарганцю.

Таблиця 1 – Результати хімічного аналізу наплавленого Fe-Cr-Mn-Ni-N металу

Зразки наплавленого металу	Вміст елементів,%								
	C	Cr	Si	Mn	Ni	Ti	Al	V	N
X20H10Г6	0,05	19,49	0,75	5,79	8,55	0,04	0,15	0,02	-
10X19H4Г10	0,11	18,29	0,74	9,70	3,81	0,04	0,17	0,02	-
10X19H3Г10АТ	0,11	18,91	0,74	10,06	3,09	0,04	0,17	0,02	0,075
10X19H3Г10АТ	0,11	18,95	0,75	9,87	3,11	0,04	0,19	0,02	0,15

Примітка: Вміст сірки 0,03%; фосфору 0,03%;

Макроструктура металу шва в три шари показує чітке положення шарів металу шва, які відрізняються ступенем протравлюваності, що пояснюється різним хімічним складом шарів внаслідок їх змішування з основним металом, а також між собою у верхніх шарах зварного шва. Макроструктура наплавленого металу випробуваними порошковими дротами має більш світлий колір з дрібнозернистою структурою в перших шарах і в зоні термічного впливу, що можна пояснити процесами, пов'язаними з рекристалізацією металу при нагріванні за рахунок тепла, що виділяється при наплавленні наступних шарів металу (рис. 1).

Машинобудування і зварювальне виробництво

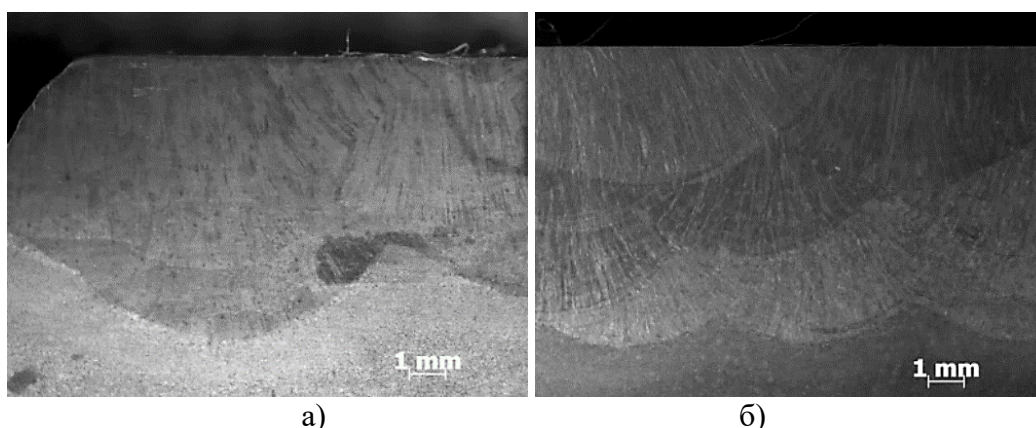


Рисунок 1 – Макроструктура наплавленого Fe-Cr-Mn-Ni металу (x8): а) X20Ni10Cr6; б) 10X19Ni3Cr10Al

Макроструктура наступних шарів має стовпчасту дендритну структуру. Дендрити невеликі, витягнуті в бік, протилежний тепловіддачі. Результати макроаналізу не виявили дефектів металу шва, сплавлення роликів між собою хороше, дефектів в зоні сплавлення з основним металом немає.

Мікроструктура багатозарового металу шва без термічної обробки - аустеніт з дисперсними карбідами, це пов'язано з високим вмістом хрому і марганцю, розташованих всередині зерен, які мають витягнуту форму, що говорить про спрямоване відведення тепла в процесі кристалізації. Усередині деяких зерен видно лінії ковзання, що є наслідком деформації при виникненні внутрішніх напружень. Мартенсит має рейкову конструкцію партії, що обумовлено низьким вмістом вуглецю в металі зварного шва. У середній частині наплавлений метал має аустенітно-мартенситну структуру, що обумовлено меншим вмістом вищезгаданих речовин. Ближче до зони плавлення спостерігається переважно мартенситна структура, причина цього - ще менший вміст легуючих речовин за рахунок більшого змішування з основним металом, на якому проводилося наплавлення (09Г2С). Основний метал має феритно-перлітну структуру. У наплавленому металі відсутні мікротріщини. Плавлення з основним металом хороше, дефектів не виявлено (рис 1, рис 2).

Метал, наплавлений порошковим дротом ПП-Нп-10X19Ni3Cr10Al (0,15% Н), має більш високу твердість на відміну від металу, отриманого шляхом наплавлення порошковим дротом ПП-Нп-X20Ni10Cr6, це обумовлено більш високим вмістом карбонітридів.

Верхній шар - 24 HRC, середній шар - 28 HRC, перший шар - 34 HRC. Зона злиття - 14 HRC. Таким чином, за допомогою параметрів наплавлення можна регулювати хімічний склад наплавленого металу, структуру, ступінь метастабільності, це дозволяє регулювати експлуатаційні характеристики одержуваного шару.

При наплавленні порошковими проводами ПП-Нп-10X19Ni3Cr10 і ПП-Нп-10X19Ni3Cr10Al (0,075% Н) характер зміни мікроструктури аналогічний зварюванню металу порошковим дротом ПП-Нп-10X19Ni3Cr10Al (0,15% Н).

Розроблені порошкові дроти, а також порошкові дроти порошкові ПП-Нп-X20Ni10Cr6 піддавалися випробуванням на холодну пластичну деформацію в поверхневому шарі з метою визначення здатності металу шва до зміцнення (рис 3).

Машинобудування і зварювальне виробництво

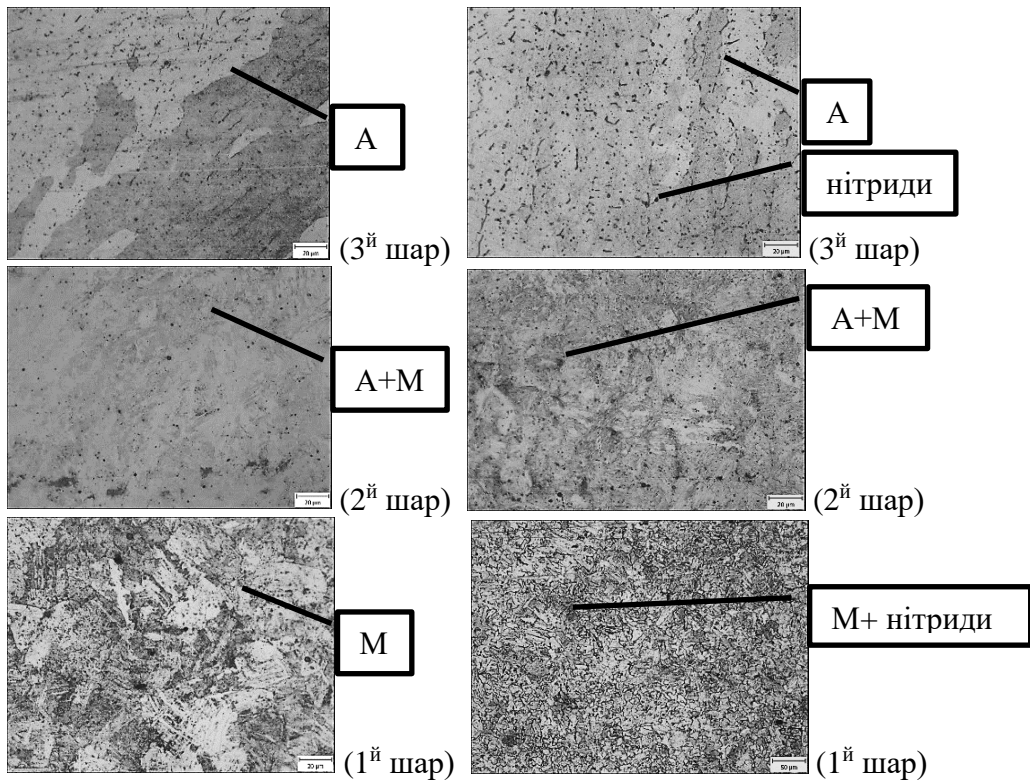


Рисунок 2 – Мікроструктура металу в наплавленому стані (панорамна зйомка), наплавлення ПП-Нп-Х20Н10Г6 (ліворуч), ПП-Нп-10Х19Н3Г10АТ (праворуч), х500

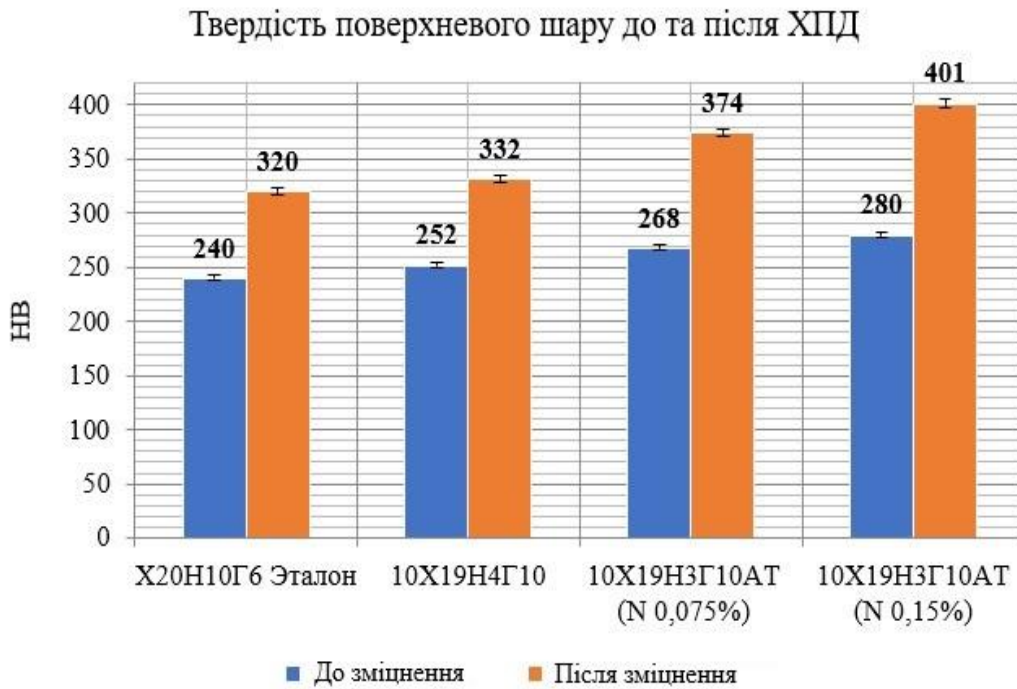


Рисунок 3 – Результати зміни твердості наплавлення випробуваними порошковими дротами до та після ХПД

Машинобудування і зварювальне виробництво

Отримані результати випробувань на холодну пластичну деформацію підтверджують здатність випробуваних наплавочних матеріалів до ефекту деформаційного мартенситного перетворення. Добре видно, що розроблений порошковий дріт ПП-Нп-10X19НЗГ10АТ з вмістом азоту 0,15% має високі показники зміцнення в процесі навантаження, це пов'язано з утворенням в металі шва поверхневого шару карбонітридів хрому, титану, алюмінію і ванадію, а також метастабільного аустеніту, який в процесі навантаження піддається деформаційному мартенситному перетворенню.

З метою визначення зносостійкості наплавленого металу були проведені випробування на абразивне (ϵ_a), ударно-абразивне (ϵ_{y-a}) і сухе тертя (ϵ). Результати комплексних випробувань зварного металу без термічної обробки на зносостійкість наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Зносостійкість і твердість металу шва без термічної обробки

Марка НМ	HRC	A,%	ϵ	$\Delta M, \%$	ϵ_a	$\Delta M_a, \%$	ϵ_{y-a}	$\Delta M_{y-a}, \%$
X20H10Г6(Еталон)	23	100	1	0	1	4	1	7
10X19H4Г10	24	100	1,2	9	1,32	13	1,46	17
10X19HЗГ10АТ(N0,075%)	27	100	1,4	12	1,62	17	1,76	21
10X19HЗГ10АТ(N0,15%)	29	100	1,6	14	1,71	19	1,93	24

Таким чином, розглянуті марки зварних металів показали різну зносостійкість, в залежності від кількості, що утворюється при навантаженнях в поверхневому шарі карбонітридів. Зносостійкість самого наплавленого металу залежить від хімічного складу, отриманого в результаті зміцнення легуючими елементами. Додаткове додавання азоту в метал шва до 0,15% і зниження вмісту нікелю до 3% дозволяє підвищити зносостійкість металу шва і контролювати експлуатаційні властивості. Низький вміст нікелю виправдано з метою запобігання утворенню фериту за рахунок високого вмісту Cr.

Головною особливістю розроблюваного матеріалу є самозміцнення поверхневого шару наплавленого металу за рахунок енергії руйнування, більша частина якої витрачається на деформаційне мартенситне перетворення, тим самим менша її частина залишається на руйнування поверхні.

Структуру та властивості наплавленого металу можна ефективно змінювати за допомогою термічної обробки. Проведені раніше дослідження з вибору оптимального температурного режиму термообробки були використані для розроблених наплавочних матеріалів. Проводилися дослідження впливу відпуску на зносостійкість наплавленого металу. Низькотемпературний відпуск зазвичай використовується з метою зменшення термічних і структурних напружень у наплавленому металі, які були отримані в процесі наплавлення. Відпуск проводився безпосередньо після наплавлення наплавленого металу розробленими порошковими дротами. Наплавлений металу після наплавлення має переважно аустенітну структуру в поверхневому шарі.

Відпуск проводили за температур від 200 до 650°C з витримкою протягом 1 години і подальшим охолодженням на відкритому повітрі. Відпуск у температурному діапазоні від 400 до 650°C призводить до виділення карбідів на кордонах зерен і в їхньому обсязі. Структура наплавленого металу в поверхневому шарі переважно залишається без змін і відповідає аустенітній. Заміри твердості в поверхневому шарі наплавленого металу проводили на твердомірі за Роквелом, результати представлені на рис. 4.

Твердість верхнього наплавленого шару за температури відпуску, що дорівнює 650°C, становить HRC 27...35, що відповідає аустенітно-мартенситній структурі. Зі зростанням глибини наплавлення, зростає твердість HRC 33...35, що відповідає мартенситній структурі.

Машинобудування і зварювальне виробництво

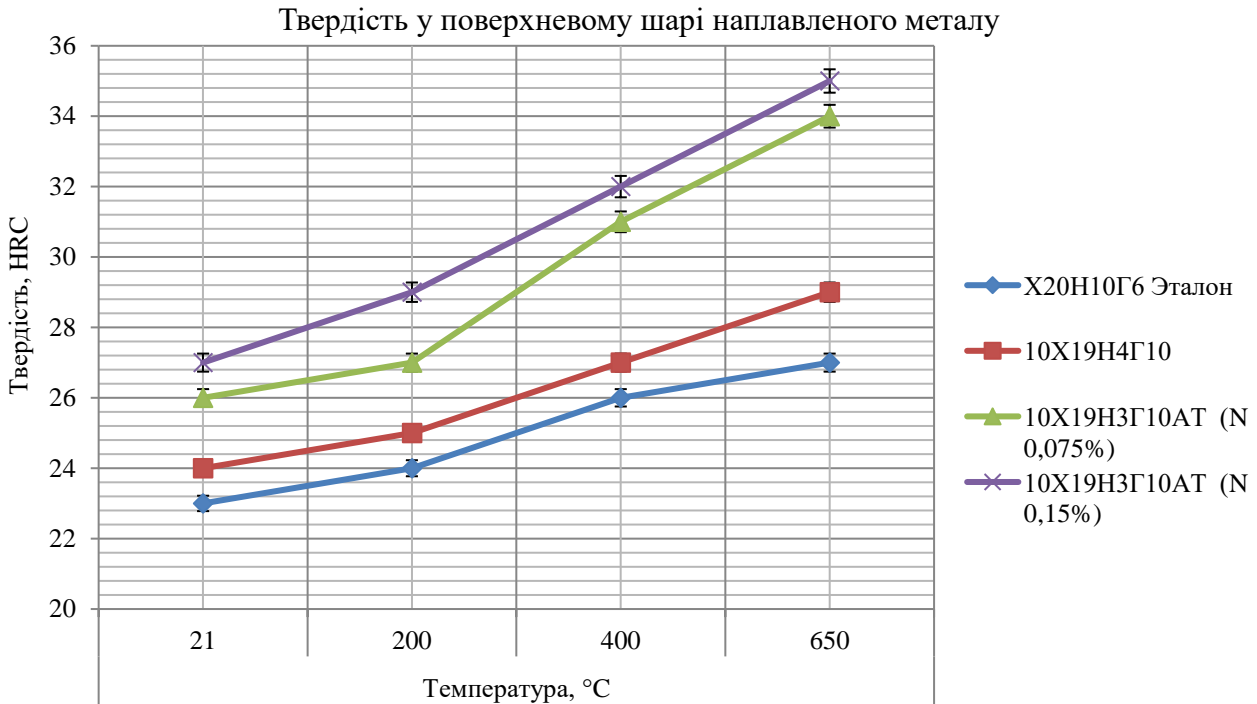


Рисунок 4 – Результати зміни твердості поверхнього шару наплавленого металу випробуваними порошковими дротами, що випробовуються

З підвищенням температури відпуску в досліджуваному інтервалі збільшується кількість карбідів у наплавленому металі, що, своєю чергою, призводить до збіднення аустеніту вуглецем і легуючими елементами, що містяться в наплавленому металі. Ці чинники сприяють зменшенню стабільності аустеніту в поверхневому шарі та більшому виділенню карбідів. Підвищена дестабілізація аустеніту сприяє інтенсивнішому динамічному мартенситному перетворенню в процесі навантаження і самозміцнення.

Метал наплавлений випробуваними порошковими дротами, що випробовуються, був підданий випробуванню на холодну пластичну деформацію з метою визначення схильності до самозміцнення під впливом деформаційного навантаження за допомогою металевої кульки. Потім в отриманому відбитку заміряли твердість за Брінелем. Результати замірів представлені на рис. 5.

У результаті випробувань зразків наплавленого металу на холодно-пластичну деформацію твердість наплавленого металу значно зростає, що свідчить про самозміцнення за рахунок динамічного мартенситного перетворення в поверхневому шарі металу. Наплавлений метал не підданий низькотемпературному відпуску має нижчі показники самозміцнення. Більш висока температура відпуску призводить до більшого ступеня дестабілізації аустеніту і більш інтенсивного підвищення твердості при навантаженні. Відпуск за 650°C призводить до підвищення зносостійкості наплавленого металу за різних видів зносу.

Машинобудування і зварювальне виробництво

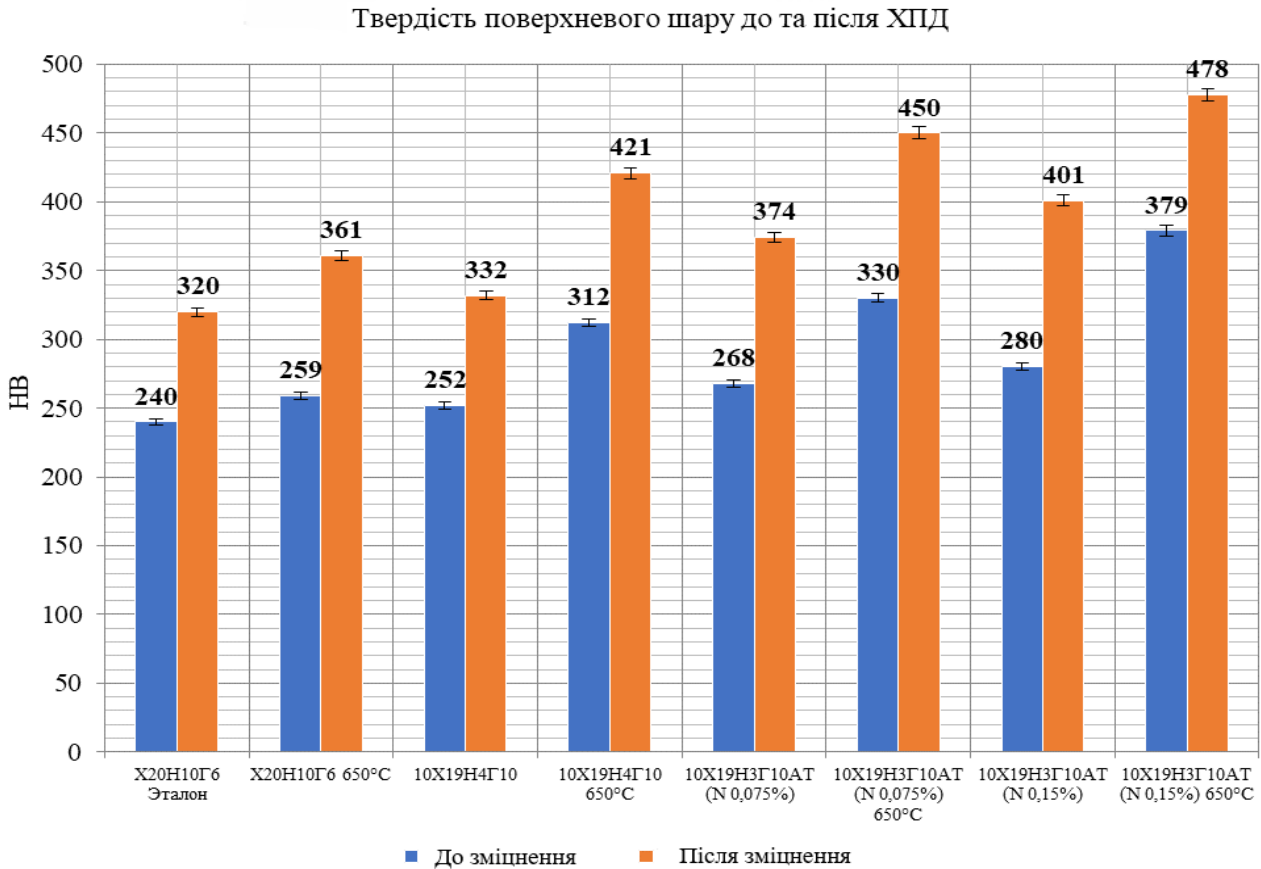


Рисунок 5 – Результати зміни твердості багатошарового наплавлення випробуваними порошковими дротами до і після ХПД

Для визначення зносостійкості наплавленого металу розробленими порошковими дротами були проведені випробування на абразивний (ϵ_a), ударно-абразивний (ϵ_{y-a}) і знос за сухого тертя (ϵ) після відпустки в температурному інтервалі 200...650°C. Приріст кількості мартенситу деформації при комплексних випробуваннях наплавленого металу після низькотемпературного відпуску на зносостійкість наведені в таблиці 3, за еталон узято наплавлений металу порошковим дротом ПП-Нп-X20H10Г6.

Таблиця 3 – Вплив відпуску на приріст мартенситу деформації під час комплексних випробувань на зносостійкість у наплавленому металі розробленими порошковими дротами

Марка НМ	Сухое трение, $\Delta M, \%$			Абразивный $\Delta M_a, \%$			Ударно-абразивный $\Delta M_{y-a}, \%$					
		200°C	400°C	650°C		200°C	400°C	650°C		200°C	400°C	650°C
X20H10Г6 (Эталон)	0	1	3	5	4	5	7	8	7	8	10	11
10X19H4Г10	9	10	12	15	13	14	17	19	17	15	20	23
10X19H3Г10АТ (N 0,075%)	12	13	17	21	17	19	22	25	21	19	24	27
10X19H3Г10АТ (N 0,15%)	14	15	20	25	19	20	25	30	28	23	31	40

Машинобудування і зварювальне виробництво

Проведені комплексні випробування на зносостійкість наплавленого металу розробленими порошковими дротами показали, що відпуск в інтервалі від 200...400°C призводить до мінімальної зміни зносостійкості в умовах абразивного та ударно-абразивного зносу, збільшення температури відпуску до 650°C призводить до значного зростання показників зносостійкості (рис. 6).

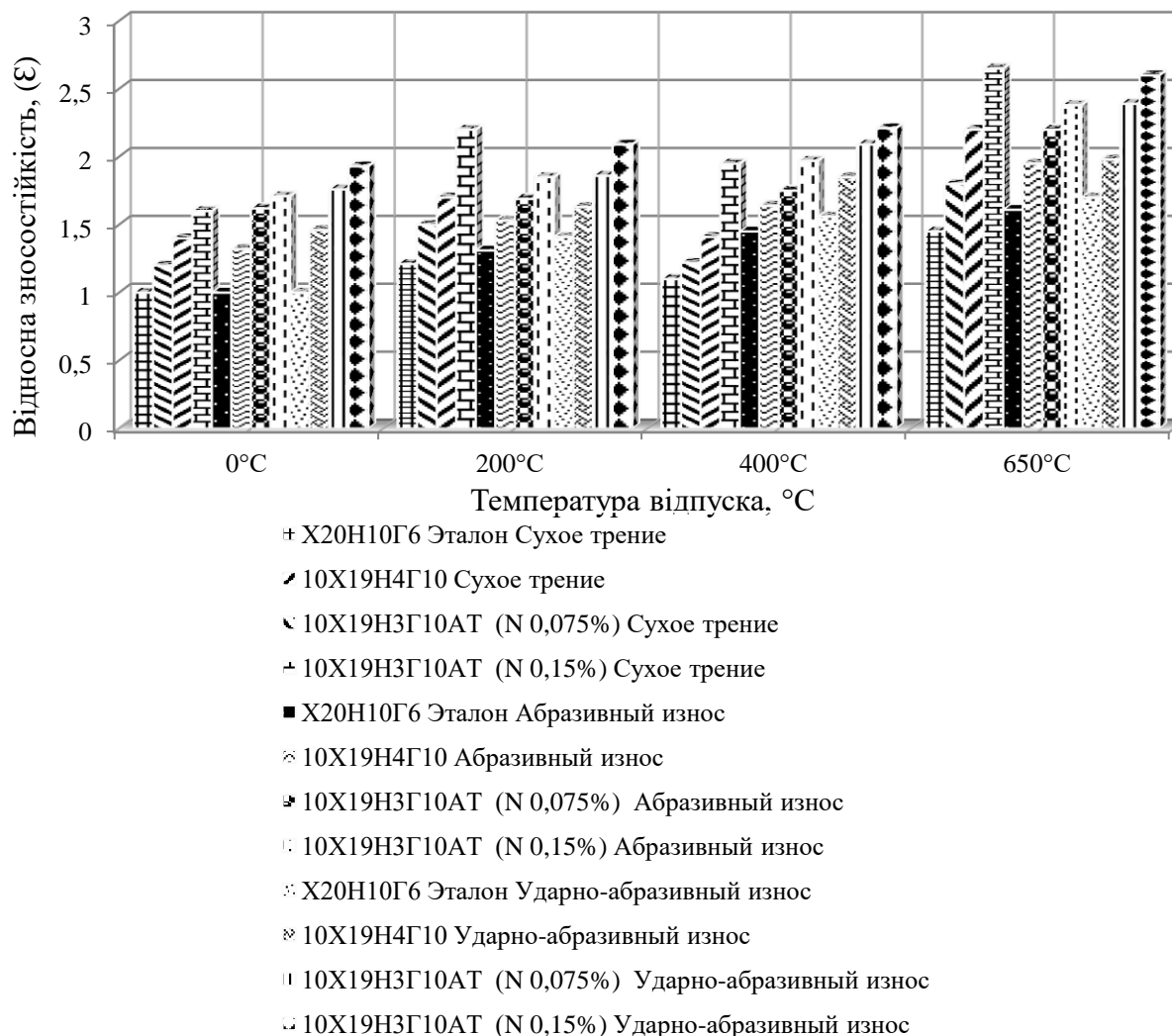


Рисунок 6 – Відносна зносостійкість наплавленого металу випробовуваними порошковими дротами при різних видах зношування до і після відпуску за різних температур

ВИСНОВКИ

Найвищі показники зносостійкості продемонстрував наплавлений метал 10X19H3Г10АТ (N 0,15%) порівняно з еталоном X20H10Г6. В умовах сухого тертя наплавлений метал розробленим порошковим дротом 10X19H3Г10АТ (N 0,15%) в умовах відпуску за 650°C перевершує еталон у 2,65 рази. За абразивного та ударно-абразивного зносу простежується схожа закономірність, зносостійкість наплавленого металу новим порошковим дротом вища за еталон у 2,38 рази за абразивного та в 2,6 рази за ударно-абразивного зносу в разі відпуску, що дорівнює 650°C.

Таке значне підвищення зносостійкості можна пояснити дисперсним зміцненням внаслідок виділення карбонітридів, а також дестабілізацією аустеніту і подальшим

Машинобудування і зварювальне виробництво

інтенсивнішим деформаційним мартенситним перетворенням у поверхневих шарах. Основною особливістю розробленого матеріалу є самозміцнення поверхневого шару наплавленого металу за рахунок енергії руйнування, більша частина якої витрачається на деформаційне мартенситне перетворення, тим самим менша її частина залишається на руйнування поверхні.

Список використаних джерел

1. *Ematian A.* Study on Wear Resistance, Hardness and Impact Behaviour of Carburized Fe-Based Powder Metallurgy Parts for Automotive Applications / *A. Ematian* // *Materials Sciences and Applications*. – 2012. – № 3. – P. 519- 522.

2. *Петрова Л.Г.* Прикладное применение химико-термической обработки для разработки процессов поверхностного упрочнения / *Л.Г. Петрова* // *Вестник ХНАДУ*. – 2010. – Вып. 51. – С. 26-34.

3. *Малинов Л.С.* Получение метастабильного аустенита в поверхностном слое сталей и реализация эффекта самозакалки при нагружении для повышения их абразивной износостойкости / *Л.С. Малинов* // *Металл и литье Украины*. – 2010. – № 8. – С. 19-23.

4. *Чейлях А.П.* Повышение износостойкости цементованных сталей путем использования метастабильности остаточного аустенита / *А.П. Чейлях, Н.Е. Караваева* // *Кадры для региона – современная металлургия нового тысячелетия: 10-я Научно-практическая конференция, ЛГТУ, г. Липецк, декабрь 2013 г.* – Липецк: ЛГТУ, 2013. – Часть II. – С. 64-72.

5. *Чигарев В.В.* Повышение износостойкости хромомарганцевого наплавленного металла / *В.В. Чигарев, А.М. Зусин, В.Л. Малинов* // *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. Серія: Обробка матеріалів у машинобудуванні*. Миколаїв: НУК, 2014. №4. с.70-73.

6. *Чигарев В.В.* Влияние содержания углерода на износостойкость и свойства наплавленного металла, содержащего метастабильный аустенит / *В.В. Чигарев, В.Л. Малинов, А.М. Зусин* // *Сварочное производство: научно-технический и производственный журнал*. – М.: Изд. центр. «Технология машиностроения», 2015. – №8. – С.31-34.

7. *Малинов Л.С.* Разработка и исследование новой порошковой ленты для наплавки колес мостовых кранов / *Л.С. Малинов* // *Сварочное производство*, 1995. №10, с. 22-25.

8. *Литвиненко В.Б.* Исследование влияния азота и нитридообразующих элементов на структуру и износостойкость наплавленного металла / *В.Б. Литвиненко* // *8-я Российская конф. молод. научн. сотр. и аспирантов. «Физико-химия и технология неорг. материалов»*, Москва, 1518 ноября 2011. М., 2011. с. 599-600.

9. *Петров Г.Л.* Сварочные материалы / *Г.Л. Петров* // Л.: Машиностроение, 1972. 280 с.

Zusin A.M.

INFLUENCE OF HEAT TREATMENT MODES ON THE STRUCTURE AND WEAR RESISTANCE OF WELDED METAL BY DEVELOPED CORED WIRES WITH NITROGEN

Interruption of machine operation due to damage or wear of components limits the duration of normal operation and leads to downtime. Additional costs are required for the manufacture and repair of spare parts. The operational reliability and durability of many machine parts depends on their strength and wear resistance [1].

Many machine parts are subjected to surface hardening to increase the hardness, endurance, and wear resistance of the surface layer. There are three main methods of surface hardening: surface hardening, chemical heat treatment, and plastic deformation hardening [2].

This paper investigates the possibility of obtaining residual austenite using different heat treatment regimes, as well as the effect of microstructure and its metastability on wear resistance. The phase composition, austenite metastability, and mechanical properties of cemented carbide steels can be controlled by adjusting the tempering temperature.

In recent years, many scientists have demonstrated the positive effect of residual austenite, which forms in the surface layer and self-reinforces under load, on wear resistance and fatigue strength [3].

One of the most important areas of modern welding is the creation of surfacing materials with metastable structures that can self-organize under the influence of external factors.

They can adapt to loading conditions and have significantly higher properties. Research in this area began in the middle of the last century by I.M. Bogachev and R.I. Mintz. They came up with and implemented the extremely fruitful idea of using martensitic transformation under load to test the mechanical properties and performance of special steels.

Alloys with metastable austenite have increased resistance to hydro-abrasive wear, abrasive, impact, dry friction and fatigue loading. These alloys make it possible to achieve high levels of mechanical properties. This is due to the fact that most of the external energy is consumed by the martensitic transformation under load, and, accordingly, a smaller proportion is used for fracture. The development of the martensitic transformation leads not only to strengthening but also to the relaxation of microstresses, which improves the micro-volume and characteristics of the alloy. This is also facilitated by dynamic strain aging. [4].

Keywords: *flux-cored wire, austenite, nitrogen, wear resistance, alloying, arc surfacing, carbides, nitrides, heat treatment, tempering.*

Стаття надійшла 28.04.2024 р.