

ВПЛИВ СКЛАДУ ПОРОШКОВОГО ДРОТУ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАСТАБІЛЬНОГО МЕТАЛУ ЛЕГВОАНОГО АЗОТОМ

Підвищення міцності металу та поліпшення його якості – одна з основних проблем при ремонті та зміцненні деталей машин та конструкцій, оскільки рішення її дозволить не тільки підвищити надійність та довговічність, а й значно знизити витрату металу.

З багатьох способів підвищення міцності конструкційних сталей важлива роль належить легуванню. Зміцнення може бути обумовлено багатьма чинниками, зокрема і створенням у структурі дисперсних карбідних і нітридних фаз. У зв'язку з цим у останні роки проводять дослідження щодо зміцнення конструкційних сталей за рахунок виділення нітридів легуючих елементів у дисперсному вигляді.

Сучасні вимоги до якості виробів і конструкцій, що відновлюються, зумовили тенденцію номенклатури наплавочних матеріалів у бік зростання частки легування в загальному обсязі виробництва. В останні роки значно зріс інтерес до наплавних матеріалів з підвищеним вмістом азоту, особливо корозійностійким.

Однією з основних переваг цих наплавних матеріалів, порівняно з традиційними, є їх висока міцність. У той же час, оскільки азот має сильну здатність стабілізувати аустеніт, легування азотом дозволяє зменшити в нержавіючих сталях вміст аустенітоутворювальних елементів, таких як нікель і марганець у півтора - два рази, або взагалі виключити ці елементи зі складу. Додавання азоту до складу наплавних матеріалів дозволяє вирішувати не тільки питання підвищення їх міцності та економії легуючих елементів, а й вирішувати екологічні проблеми. Наприклад, при повній (або частковій) відмові від легування сталей марганцем та заміні його азотом з'являється можливість уникнути шкоди екосистемі та здоров'ю людей, пов'язаних з викидами в атмосферу токсичних оксидів марганцю при наплавленні. Крім того, азот, що входить до складу повітря, є дешевим, і процес його отримання з атмосфери не вимагає руйнування поверхні та надр землі, немінучих при видобутку руд.

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

Постановка проблеми. Для розробки нового складу наплавного матеріалу з метою отримання в наплавленому металі метастабільного зносостійкого покриття було визначено основні цілі: формування метастабільного аустеніту наплавленому металі; зниження витрат на легуючі елементи насамперед нікелю; регулювання властивостей наплавленого металу під час деформаційного мартенситного перетворення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Отримати необхідні технологічні характеристики та високі показники зносостійкості можна при вмісті вуглецю в межах від 0,1 до 0,7%, що підтверджується в проведених раніше роботах [1]. У свою чергу, легуванням наплавленого металу хромом, марганцем і кремнієм можна ефективно впливати на формування наплавленого металу, регулювати фазовий склад, співвідношення обсягів мартенситу і метастабільного аустеніту. Хром зміцнює аустеніт та мартенсит за рахунок утворення карбідів, а також надає високу корозійну стійкість наплавленому металу [2]. Марганець є аустенізатором, збільшення кількості дозволяє знизити витрати на нікель.

Добавки титану та ванадію забезпечують додаткове зміцнення та подрібнення структури наплавленого металу, це обумовлено утворенням дисперсних важкорозчинних карбідів та нітридів, що призводить до підвищення зносостійкості.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Введення алюмінію в невеликих кількостях призводить до підвищення зносостійкості та підвищення в'язкості наплавленого металу за рахунок утворення в ньому нітридів.

З метою додаткового зміцнення наплавленого металу за рахунок утворення в ньому карбонітридів і нітридів [3,4] необхідно вводити в невеликих кількостях азот, який також стабілізує вплив на аустеніт. Враховуючи перераховані вище фактори, що стосуються азоту, його вміст у наплавленому металі не повинен перевищувати 0,15%.

Мета дослідження. Метою роботи є розробка наплавлювального матеріалу, у вигляді порошкового дроту та флюсу, що забезпечує в наплавленому металі метастабільний аустеніт, легований азотом.

Основний матеріал дослідження. Виходячи з необхідних нам властивостей наплавленого металу, було підібрано інгредієнти та розраховано їх зміст за методикою, зазначеною у роботі Думова С.І. [5] для розробки порошкового наплавного дроту. Як наповнювач порошкового дроту використовувалися ферохром азотований, феромарганець, нікель, феротитан, ферованадій, феросиліцій. Для рафінування наплавленого металу використовувався алюмінієвий порошок. Діаметр оболонки дроту становив 4 мм, виконаний з низьковуглецевої сталі 08КП. 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. Зазначені дроти дозволяють здійснювати електродугову наплавку Fe-Cr-Mn-Ni-N металу аустенітного, мартенситно-аустенітного та аустенітно-мартенситного класів, з регульованим фазовим складом, а також можливістю отримання деформаційного метастабільного стану за рахунок регулювання хімічного складу наплавки. 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

Наплавлення розвиненими порошковими дротами не викликає труднощів, забезпечує хороше формування і сплавлення шарів, не виявляються дефекти металу шва (пори, тріщини). Висота наплавленого металу становила: один шар 5... 7 мм, два шари по 10... 13 мм, три шари по 14... 16 мм.

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 напавленні наступних шарів металу (рис. 1).

Машинобудування і зварювальне виробництво

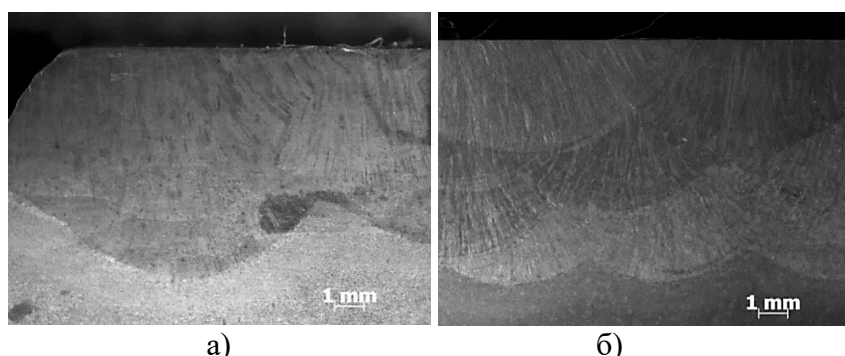


Рисунок 1 – Макроструктура наплавленого Fe-Cr-Mn-Ni металу (x8): а) X20Ni10Cr6; б) 10X19Ni3Cr10AT

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 добре, дефектів в зоні сплавлення з основним металом немає.

Мікроструктура багатшарового 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. У середині 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 добре, дефектів не виявлено (рис 1, рис 2).

Розподіл твердості по глибині поперечних ділянок в металі шва порошковим дротом ПП-Нп-Х20Ni10Cr6 підтверджує розглянутий раніше характер зміни фазового складу і мікроструктури. Верхній шар наплавленого металу має низьку твердість 21 HRC, що відповідає аустенітній структурі. Зі збільшенням глибини наплавлення твердість зростає до 24 HRC в середніх шарах наплавленого металу, які мають мартенситно-аустенітну структуру. У першому шарі твердість зростає до 30 HRC, що відповідає мартенситно-аустенітній структурі. Зона плавлення характеризується низькою твердістю 15 HRC, що відповідає феритно-перлітній структурі.

Метал, наплавлений порошковим дротом ПП-Нп-10X19Ni3Cr10AT (0,15% Н), має більш високу твердість на відміну від металу, отриманого шляхом наплавлення порошковим дротом ПП-Нп-Х20Ni10Cr6, 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 електродами ПП-Нп-10X19Ni3Cr10 і ПП-Нп-10X19Ni3Cr10AT (0,075% Н) характер зміни мікроструктури аналогічний зварюванню металу порошковим дротом ПП-Нп-10X19Ni3Cr10AT (0,15% Н).

Машинобудування і зварювальне виробництво

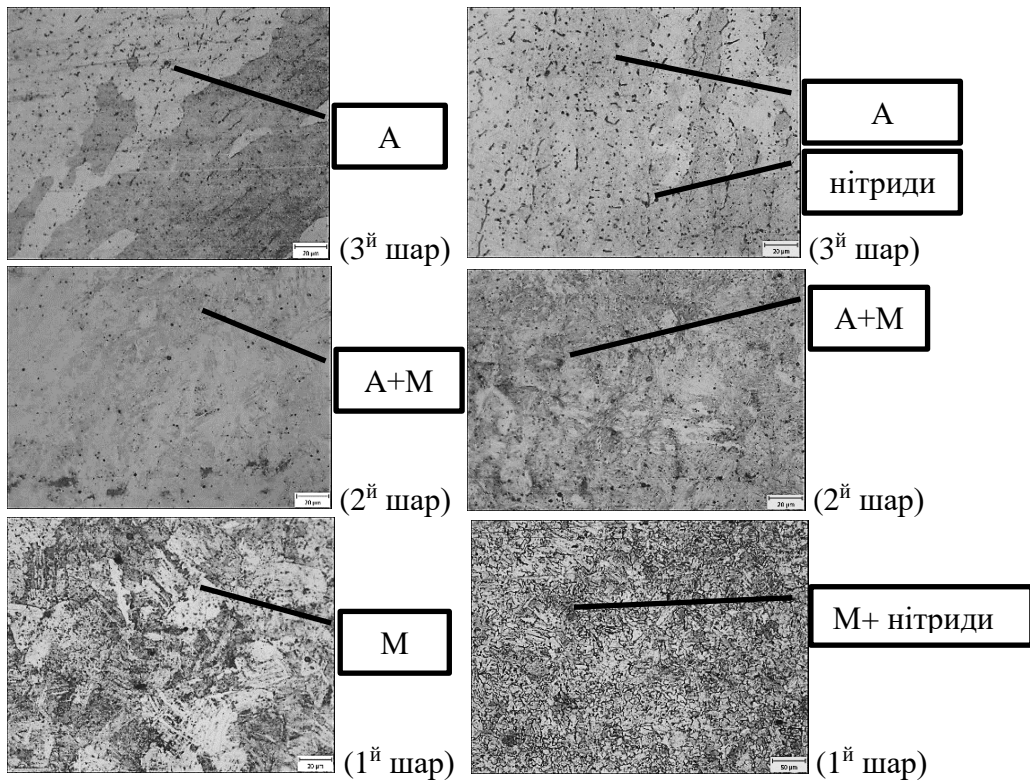


Рисунок 2 – Мікроструктура металу в наплавленому стані (панорамна зйомка), наплавлення ПП-Нп-Х20Н10Г6 (ліворуч), ПП-Нп-10Х19Н3Г10АТ (праворуч), х500

Розроблені порошкові дроти, а також порошкові дроти порошкові ПП-Нп-Х20Н10Г6 піддавалися випробуванню на холодну пластичну деформацію в поверхневому шарі з метою визначення здатності металу шва до зміцнення (рис 3).



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.

ВИСНОВКИ

В роботі вирішено науково-технічне завдання по розробці наплавлювальних матеріалів на основі зниження вмісту гостродефіцитних легуючих елементів, за рахунок розробки порошкового дроту. З використанням методів математичного моделювання, на підставі літературних даних, побудована експериментально-статистична модель повною мірою, яка описує очікуємі показники твердості і зносостійкості наплавленого металу порошковими дротами, що відповідають високими експлуатаційними показниками, та дозволяє прогнозувати характеристики наплавленого металу після відпуску при температурі 650°C. Визначено оптимальний склад розробленого порошкового дроту ПП-Нп-10X19НЗГ10АТ замість порошкового дроту ПП-Нп-X20H10Г6, що дозволяє знизити вміст нікелю в наплавленому металі з 10% до 3% збільшивши вміст марганцю до 10% і азоту до 0,15% і підвищити ступінь зміцнювання і зносостійкості при сухому терті ковзанні в 1,6 рази, абразивному зносі в 1,71 рази та ударно-абразивному зносі в 1,93 рази.

Список використаних джерел

1. 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.
2. 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.
3. Малинов Л.С. Разработка и исследование новой порошковой ленты для наплавки колес мостовых кранов / Л.С. Малинов // Сварочное производство, 1995. №10, с. 22-25.
4. 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 аспиранта. «Физико-химия и технология неорг. материалов», Москва, 1518 ноября 2011. М., 2011. с. 599-600.
5. Петров Г.Л. Сварочные материалы / Г.Л. Петров // Л.: Машиностроение, 1972. 280 с.

Zusin A.M.

THE INFLUENCE OF THE COMPOSITION OF THE POWDER WIRE ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE METASTABLE METAL WITH NITROGEN

Increasing the strength of metal and improving its quality is one of the main problems in the repair and strengthening of parts of machines and structures, since its solution will not only increase reliability and durability, but also significantly reduce metal consumption.

Among the many ways to increase the strength of structural steels, alloying plays an important role. Strengthening can be caused by many factors, in particular, the creation of dispersed carbide and nitride phases in the structure. In this regard, in recent years, research has been conducted on the strengthening of structural steels due to the release of nitrides of alloying elements in dispersed form.

Modern requirements for the quality of products and structures, which are being restored, determined the tendency of the nomenclature of surfacing materials towards an increase in the share of alloying in the total volume of production. In recent years, interest in floating materials with increased nitrogen content, especially corrosion-resistant ones, has grown significantly.

One of the main advantages of these floating materials, compared to traditional ones, is their high strength. At the same time, since nitrogen has a strong ability to stabilize austenite, nitrogen alloying allows to reduce the content of austenite-forming elements such as nickel and manganese in stainless steels by one and a half to two times, or to exclude these elements from the composition altogether. Adding nitrogen to the composition of floating materials allows solving not only the issue of increasing their strength and saving alloying elements, but also solving environmental problems. For example, with a complete (or partial) rejection of alloying steels with manganese and replacing it with nitrogen, there is an opportunity to avoid damage to the ecosystem and human health associated with emissions of toxic manganese oxides into the atmosphere during surfacing. In addition, the nitrogen contained in the air is cheap, and the process of obtaining it from the atmosphere does not require the destruction of the surface and subsoil of the earth, which is inevitable in the extraction of ores.

Keywords: powder wire, austenite, nitrogen, wear resistance, alloying, arc welding, carbides, nitrides.

Стаття надійшла 15.09.2023 р.