**ВЛИЯНИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА АКТИВНОСТЬ РАСТВОРЕНИЯ УГЛЕРОДА**

**ПРИ НАПЛАВКЕ СПЛАВАМИ СИСТЕМЫ Cr-Mn-Mo-Ti НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА**

**©Багров В. А.**

*Українська інженерно-педагогічна академія*

**Інформація про автора:**

**Багров Валерій Анатолійович:** ORCID: 0000-0002-3014-9901; valerij011163@mail.ru; кандидат технічних наук; доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Целью работы явилось исследовать распределение фазы TiC в сплавах системы Cr-Mn-Mo-Ti на основе железа при различных способах наплавки.

Экспериментальные исследования проводили однослойной наплавкой порошковыми проволоками системы Cr-Mn-Mo-Ti на основе железа с подачей обесточенной присадки в головную часть сварочной ванны с исследованием химического состава и металлографических исследования.

Установлено, что применение наплавки порошковыми проволоками с экзогенным вводом карбидов в сварочную ванну способствует более равномерному распределению карбидной фазы в объеме металла в сравнении с эндогенным вводе карбидов. Увеличение содержания Mn и Cr в наплавленном металле снижают активность углерода как карбидообразующего элемента. Увеличение количества фазы TiC повышает внутреннюю теплоту наплавленного металла при экзогенном ее вводе.

***Ключевые слова:*** наплавка; порошковая проволока; легирование; карбиды; активность элементов.

***Багров В. А.*** «Вплив легуючих елементів на активність розчинення вуглецю при наплавленні сплавами системи Cr-Mn-Mo-Ti на основі заліза».

Метою роботи є дослідити розподіл фази TiC в сплавах системи Cr-Mn-Mo-Ti на основі заліза при різних способах наплавлення.

Експериментальні дослідження проводили одношаровоим наплавленням порошковими дротами системи Cr-Mn-Mo-Ti на основі заліза з подачею знеструмленої присадки в головну частину зварювальної ванни з дослідженням хімічного складу і металографічних досліджень.

Встановлено, що застосування наплавлення порошковими дротами з екзогенним введенням карбідів в зварювальну ванну сприяє більш рівномірному розподілу карбідної фази в об'ємі металу в порівнянні з ендогенним введенням карбідів. Збільшення вмісту Mn та Cr в наплавленому металі знижують активність вуглецю як карбідоутворюючого елементу. Збільшення кількості фази TiC підвищує внутрішню теплоту наплавленого металу при екзогенному її введенні.

***Ключові слова:*** наплавлення; порошковий дріт; легування; карбіди; активність елементів.

***Bagrov V.*** “The influence of alloying elements on the activity of dissolved carbon for welding the alloys of Cr-Mn-Mo-Ti iron-based”.

The aim of this work was to investigate the distribution of the TiC phase in the alloys of Cr-Mn-Mo-Ti iron-based at various ways of surfacing.

Experimental studies were performed single-layer welding or flux-cored system Cr-Mn-Mo-Ti iron-based feed additives in de-energized the head part of the weld pool with the study of the chemical composition and metallographic tests.

It is established that the application of hardfacing flux cored wire with exogenous input of carbides in the weld pool contributes to a more uniform distribution of the carbide phase in the volume of metal in comparison with endogenous entry of carbides. The increased content of Mn and Cr in the weld metal and reduce the activity of carbon as a carbide of the element.. the increase in the number of TiC phase increases internal warmth of weld metal at its exogenous input.

***Keywords:*** surfacing; flux-cored wire; alloying; carbides; activity elements.

**1. Постановка проблемы**

Наличие в структуре наплавленного металла карбидов тугоплавких металлов (TiC, VC, NbC, WC и др.) повышает износостойкость металла, работающего при различных видах износа. Перераспределение легирующих элементов между карбидной фазой и матрицей сплава зависит от многих факторов, регулировать которые очень трудно, а во многих случаях невозможно. Важное значение при этом имеет количество и распределение твердых карбидных включений в матрице, их формы и размеры. Но до конца так и остается не выясненным вопрос влияния способа легирования на распределение упрочняющей фазы.

**2. Анализ последних исследований**

При восстановлении изношенных деталей наплавленные слои по составу и своим свойствам в большинстве случаев отличаются от материалов основы. Легировать наплавленный металл можно различными способами – за счет обменных реакций между металлом и оксидами, входящими в состав флюса, через газовую фазу, введением легирующих элементов через электродный или присадочный материалы.

Выбор рациональной технологии наплавки и наплавочных материалов определяется возможностью расчета состава наплавленного металла [1–3]. Одна из особенностей наплавки как под керамическим флюсом, так и порошковыми проволоками – возможность получения металла практически любого химического состава за счет легирующих элементов флюса и порошковых проволок. Легирование металла начинает протекать уже в каплях, которые попадая в сварочную ванну, перемешиваются с расплавленным основным металлом. В процессе наплавки под флюсом компоненты металлической, шлаковой и газовой фазы вступают во взаимодействие друг с другом. Окончательная доводка по насыщению наплавленного металла легирующими элементами происходит при контактировании расплавленного флюса и металла сварочной ванны.

Для повышения износостойкости металла, работающего в условиях интенсивного изнашивания, в структуре наплавленных слоев желательно иметь наличие карбидов (WC, TiC, NbC, VC, MoC). Образование карбидной фазы (TiC) в наплавленном металле возможно различными способами – эндогенным (МеС) и экзогенным (Ме+С).

Применение экзогенного способа способствует увеличению внутренней теплоты как сварочной ванны, так и металла в процессе кристаллизации. Обеднение кристаллизирующегося расплава углеродом вследствие карбидообразования изменяет температуры мартенситного превращения и, вероятно, склонность наплавленного металла к образованию кристаллизационных трещин. Значительное влияние на износостойкость оказывает распределение карбидной фазы в металле.

**3. Экспериментальная часть**

Экспериментальные исследования относятся к изучению влияния способа легирования наплавленного металла при различных способах введения легирующих элементов.

Наплавку выполняли однослойную трактором ТС-17М под флюсом порошковыми проволоками. Режимы – Iд≈300…320 А; Uд≈34…36 В; Uн≈23,7 м/ч; Uп.э≈93,75 м/ч. Доля участия обесточенной присадки изменялась в пределах 0…75 %.

Вырезку образцов для исследования химического и фазового составов, механических свойств из наплавленного металла производили абразивными отрезными кругами с последующей шлифовкой и полировкой.

Химический состав наплавленного металла определяли следующими методами: углерод-газообменным (ГОСТ 2604.1-77), кремний-весовым (ГОСТ 2604.3-83), марганец-объемным персульфатосеребряным (ГОСТ 2604.5-84), титан-фотометрическим (ГОСТ 2604.10-77). Послойное содержание легирующих элементов и фазовый состав определяли на установке ДРОН–3 в излучении Кα-Со (монохроматизированном). Съемку производили по схеме Брегга-Брентано. Результаты РФА приведены на дифрактограммах, где каждому пику соответствует своя фаза.

Для проведения структурного анализа образцы из наплавленного металла травили в реактиве Вилелла: 10 мл азотной кислоты, 20 мл соляной кислоты, 20 мл глицерина и 10 мл перекиси водорода. Распределение упрочняющей фазы в наплавленном металле оценивали точечным методом Глаголева на микротвердомере ПМТ-3.

**4. Результаты исследований**

Химический состав исследуемых сплавов и объемная доля, относящаяся к выделившимся карбидам, приведены в табл. 1.

В исследуемых сталях, растворенный в металлическом расплаве, углерод образует карбиды с хромом и титаном, имеющие более низкие молярные свободные энергии в сравнении с карбидами железа и марганца.

Анализ распределения карбидов методом Глаголева показал, что при наплавке порошковой проволокой с подачей обесточенной присадки зафиксировано более равномерное распределение карбидов в сравнении с наплавкой под керамическим флюсом. Наплавка порошковой проволокой с карбидами титана в шихте без обесточенной присадки также обеспечивает равномерное распределение карбидов по сечению шва, но для получения заданного химического состава металла требуется 3…4-слойная нанесение в сравнении с наплавкой с обесточенной присадкой.

**Таблица 1** – Химический состав и объемная доля карбидной фазы исследуемых сплавов

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № сплава | Химический состав сплава, % | | | | | Объемная доля упрочняющей фазы, % |
| C | Cr | Mn | Ti | Si |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13 | 1,47  1,34  1,28  1,38  1,86  1,59  2,20  0,4  0,48  0,53  0,57  0,5  0,7 | 4,63  4,90  4,81  4,9  4,71  4,80  4,80  2,64  3,28  4,36  4,72  3,20  3,10 | 8,74  9,45  9,97  10,78  8,85  9,6  9,7  4,6  5,72  7,60  8,22  5,90  6,10 | 5,12  5,23  4,91  5,23  5,3  3,81  5,0  1,33  1,62  2,19  2,38  1,40  1,30 | 1,91  1,82  1,84  1,85  1,87  1,95  1,93  1,08  1,11  1,10  1,12  1,3  1,5 | 7,35  6,70  6,40  6,90  9,30  7,95  11,00  1,97  2,40  2,65  2,85  2,01  1,81 |

Примечание: 1…7 – наплавка по слою легирующего порошка, Ti+C;

8…11 – наплавка порошковой проволокой с обесточенной присадкой, Ti+C;

12, 13 – наплавка порошковой проволокой с карбидом титана в шихте.

В процессе охлаждения от температуры аустенитизации выделение карбидов зависит от концентрации углерода, несмотря на его высокую скорость диффузии при этих температурах. Таким образом, предельная растворимость углерода в аустените является важным фактором, влияющим на образование карбидов. На предельную растворимость углерода в твердом растворе влияет химический состав наплавленного металла и активность углерода, зависящая от коэффициентов взаимодействия углерода, легирующих элементов, а также температуры:

 (1)

где *NС* и *NiЭi* – атомная или мольная доля углерода и i-того элемента в растворе;

*εi* – коэффициенты взаимодействия, для данной системы легирования приняты: *εС*С=+0,14; *εС*Cr=-0,097; *εС*Mn=-0,012; *εС*Ti=-0,038; *εС*Si=+0,08.

Мольную долю легирующих элементов в расплаве определяли по выражению:

 (2)

где [*Эi*] – массовый процент i-того элемента в растворе;

*MiЭ* – атомная или мольная масса i-того компонента;

*k* – число компонентов раствора.

Влияние температуры на коэффициенты активности учитывали выражением

 (3)

где *Т* – температура, при которой рассчитывали коэффициенты активности.

Растворимость углерода в твердом растворе определяли по уравнению

 (4)

Растворимость углерода в жидком железе определяли по выражению

 (5)

Результаты расчета по выражениям (1), (4) и (5) при наплавке порошковыми проволоками с обесточенной присадкой приведены в табл. 2, 3.

**Таблица 2** – Влияние Cr, Mn, и Si на активность углерода

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер сплава | Температура, К | | | | | | |
| 1873 | 1673 | 1473 | 1273 | 1073 | 873 | 673 |
| 8  9  10  11 | 1,0086  1,0012  0,926  0,951 | 1,0077  1,0011  0,934  0,956 | 1,0068  1,0054  0,941  0,961 | 1,006  1,0008  0,949  0,966 | 1,005  1,0007  0,957  0,972 | 1,004  1,0006  0,965  0,977 | 1,003  1,0004  0,973  0,987 |

**Таблица 3** – Предельная растворимость углерода в железе

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Предельная растворимость, % | Температура, К | | | | | | |
| 1873 | 1673 | 1473 | 1273 | 1073 | 873 | 673 |
| *Спр.* | 6,11 | 5,6 | 4,88 | 1,09 | 0,14 | 0,007 | 0,00006 |

Анализ влияния легирующих элементов на активность растворения углерода показал, что с увеличением отрицательности коэффициентов взаимодействия связь легирующих элементов с углеродом увеличивается. Это понижает коэффициенты активности и увеличивает растворимость. Таким образом, с увеличением Mn и Cr активность углерода снижается, что по данным работы [5], уменьшает скорость образования карбидов.

**Выводы**

1. Применение наплавки порошковыми проволоками с экзогенным вводом карбидов в сварочную ванну способствует более равномерному распределению карбидной фазы в объеме металла в сравнении с эндогенным вводе карбидов.

2. Увеличение содержания Mn и Cr в наплавленном металле снижают активность углерода как карбидообразующего элемента.

3. Увеличение количества фазы TiC повышает внутреннюю теплоту наплавленного металла при экзогенном ее вводе.

**Список использованных источников:**

1. Каковкин О. С. Особенности легирования наплавленного металла карбидом титана при дуговой износостойкой наплавке / О. С. Каковкин, Ю. Д. Дарахвелидзе, Г. Г. Старченко // Сварочное производство. – 1999. – № 5. – С. 41–42.

2. Бармин Е. Л. Разработка износостойких наплавочных материалов и технология их наплавки / Е. Л. Бармин, В. П. Гусев // Современные способы наплавки. – К. : ИЭС им. Е. О. Патона, 1987. – С. 47.

3. Хасуи А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки. – М. : Машиностроение, 1985. – 240 с.

4. Справочник по практическому металловедению / В. Л. Пилюшенко, Б. Б. Винокур, С. Е. Кондратюк, Е. Л. Зац, Р. А. Пилюшенко, Л. Н. Кологривова. – К. : Техніка, 1984. – 135 с.

5. Ивабути Ё. Влияние выделения карбидов на вязкость литой стали 13Cr – 3,8Ni / Ё. Ивабути // Тэцу то хаганэ. – 1983. – Т. 69, №11. – С. 1502–1509.

**References**

1. Kakovkin, O, Darakhvelidze, Yu & Starchenko, G 1999, ‘Osobennosti legirovaniya naplavlennogo metalla karbidom titana pri dugovoy iznosostoykoy naplavke’, *Svarochnoye proizvodstvo*, no. 5, pp. 41-42.

2. Barmin, E & Gusev, V 1987. ‘Razrabotka iznosostoykikh naplavochnykh materialov i tekhnologiya ikh naplavki’, *Sovremennyye sposoby naplavki*, pp. 47.

3. Khasui, A & Morigaki, O 1985, *Naplavka i napyleniye*, Mashinostroyeniye, Moskva.

4. Pilyushenko, P, Vinokur, B & Kondratyuk, S 1984, *Spravochnik po prakticheskomu metallovedeniyu*, Tekhnіka, Kiev.

5. Ivabuti, Ye 1983, ‘Vliyaniye vydeleniya karbidov na vyazkost litoy stali 13Cr – 3,8Ni’, *Tetsu to khagane*, vol. 69, no. 11, pp. 1502-1509.

Стаття надійшла до редакції 28 квітня 2015 р.