

ВЛИЯНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ КАРБИДОВ ТИТАНА НА ВНУТРЕНнюю ТЕПЛОТУ СВАРОЧНОЙ ВАННЫ

Багров В.А., ХНАДУ

Аннотация. Целью работы явилось исследовать распределение фазы TiC в сплавах системы Cr–Mn–Mo–Ti. Наплавка проводилась порошковыми проволоками системы Cr–Mn–Mo–Ti. Установлено, что увеличение содержания Mn и Cr в наплавленном металле снижает активность углерода. Увеличение количества фазы TiC повышает внутреннюю теплоту наплавленного металла при экзогенном ее вводе.

Ключевые слова: наплавка, порошковая проволока, легирование, карбиды, активность элементов.

Введение

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 имеют 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.

Анализ публикаций

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.

Служебные характеристики наплавленного металла, предназначенного для работы в различных условиях износа, определяются прежде всего системой легирования и, как следствие этого, различным фазовым составом и структурой. При этом наименее благоприятной фазовой составляющей является феррит, поскольку имеет невысокий уровень твердости, износостойкости, вязкости и сопротивляемости разрушению.

Для повышения износостойкости широкое применение получили стали не только с мартенситной, но и аустенитно-мартенситной, аустенитно-карбидной и мартенситностареющей структурой.

Весьма перспективными по своим технологическим и механическим свойствам являются мартенситностареющие стали. Их применение имеет ряд преимуществ перед металлом мартенситного класса: возможность наплавки без предварительного и сопутствующего подогрева; сравнительно невысокая исходная твердость, позволяющая производить механическую обработку наплавленных изделий резанием; простота термической обработки.

Однако высокая стоимость и дефицитность таких легирующих элементов, как никель и кобальт, ограничивают широкое применение этих сплавов. Поэтому особое внимание заслуживают так называемые экономолегированные мартенситностареющие ста-

ли, получившие применение для инструментов. Особенностью этих сталей является содержание никеля в интервале концентраций 6–12 % при дополнительном легировании хромом, марганцем, молибденом, вольфрамом и ванадием. В случае применения сплавов с меньшим содержанием никеля (до 3 %) в качестве элемента замещения используют медь до 2 %.

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 (MeC) и экзогенным ($Me+C$).

Применение экзогенного способа способствует увеличению внутренней теплоты как сварочной ванны, так и металла в процессе кристаллизации. Обеднение кристаллизующегося 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.

Цель и постановка задачи

Целью работы явилось исследовать распределение карбидов TiC в сплавах системы $Cr-Mn-Mo-Ti$. Для достижения цели решалась задача по изучению влияния легирующих элементов на активность растворения углерода при наплавке сплавами системы $Cr-Mn-Mo-Ti$ на основе железа.

Влияние количества фазы TiC на внутреннюю теплоту наплавленного металла

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

Наплавку производили трактором ТС-17М и автоматической головкой А-1416 на пластины размером $200 \times 150 \times 25$ мм из стали 20, $500 \times 300 \times 40$ мм из стали 45 и $400 \times 50 \times 40$ мм из стали 5ХНМ. В качестве защитного флюса для наплавки порошковыми проволоками с системами легирования $Cr-Mn-Ti$ и $Cr-Mn-Mo-Ti$ на основе железа был принят флюс АН-22. Исходная основность флюса АН-22– $V=1,4668$, химическая активность – $A_{\phi}=0,1819$.

Сварочно-технологические свойства наплавочных материалов оценивали формированием наплавляемых валиков, отделяемостью шлаковой корки, стабильностью величин тока и напряжения дуги. Отличным считалось формирование валиков, имеющих постоянную ширину и высоту, гладкую, с небольшими чешуйками, поверхность. При отличной отделяемости шлаковая корка самопроизвольно, без ударов или с помощью стальной щетки снимается с поверхности наплавленного валика. Для хорошей отделяемости характерна необходимость легких ударов зубилом в торец или в боковую часть шлаковой корки; удовлетворительно отделяющаяся корка снимается с поверхности валика после более сильных и частых ударов зубилом.

Стабильность дугового процесса считали хорошей при отклонении тока и напряжения дуги от заданных средних значений соответственно не более 20–25 А, 1,5–2 В.

Наплавку производили опытными порошковыми проволоками системы $Cr-Mn-Mo-Ti$.

Перед наплавкой проволоку подвергали прокатке при температуре 550–600 К в течение 1,5–3 ч.

Доля участия обесточенной присадки изменялась в пределах 0–75 %. Схема наплавки под флюсом порошковой проволокой с подачей обесточенной присадки приведена на рис. 1.

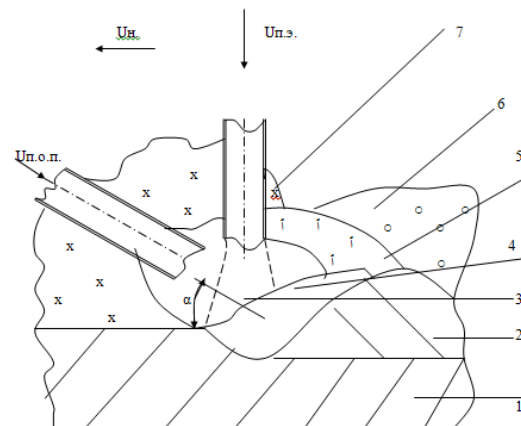


Рис. 1. Схема наплавки под флюсом порошковой проволокой с подачей обесточенной присадки: U_n – скорость наплавки, м/ч; $U_{п.э.}$ – скорость подачи электрода, м/ч; $U_{п.о.п.}$ – скорость подачи обесточенной присадки, м/ч; α – угол подачи обесточенной присадки; 1 – основной металл; 2 – наплавленный металл; 3 – дуговой промежуток; 4 – жидкий металл; 5 – жидкий шлак; 6 – шлак; 7 – флюс

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), кремний – весовым (ГОСТ 2604.3), марганец – объемным персульфатосеребряным (ГОСТ 2604.5), титан – фотометрическим (ГОСТ 2604.10). Послойное содержание легирующих элементов и фазовый состав определяли на установке ДРОН-3 в излучении $K\alpha$ -Co (монохроматизированном). Съемку производили по схеме Брегга–Брентано.

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.

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

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

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

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.

Исследовано распределение карбидов в наплавленном металле для различных вариантов механизированной наплавки. В резуль-

тате рентгеноструктурного анализа в исследуемых сплавах были выявлены следующие фазы: TiC и $(Fe, Cr)_{23}C_6$. Атомы углерода, входящие в твердый раствор по типу внедрения, легко диффундируют на границы, где происходит кристаллизация карбидов. Процесс выделения карбидов с учетом диффузии состоит из следующих стадий:

1) диффузия атомов углерода, находящихся внутри зерен в пересыщенном состоянии, на границы зерен;

2) образование и рост карбидов на границах зерен в результате реакции взаимодействия углерода с титаном;

3) диффузия хрома к атомам углерода, не связанным в карбиды титана.

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-слойное нанесение в сравнении с наплавкой с обесточенной присадкой.

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

$$\ln \gamma_C = \varepsilon_C N_C + \sum_{i=1}^k \varepsilon_{Ci} N_i^{z_i}, \quad (1)$$

где N_C и $N_i^{z_i}$ – атомная или молярная доля углерода и i -го элемента в растворе; ε_i – коэффициенты взаимодействия, для данной системы

легирования приняты: $\varepsilon_c^C=+0,14$; $\varepsilon_c^{Cr}=-0,097$; $\varepsilon_c^{Mn}=-0,012$; $\varepsilon_c^{Ti}=0,038$; $\varepsilon_c^{Si}=+0,08$.

Мольную долю легирующих элементов в расплаве определяли по выражению

$$N_i = ([\mathcal{E}_i] / M_i^{\mathcal{E}}) \left(\sum_{i=1}^k [\mathcal{E}_i] / M_i^{\mathcal{E}} \right)^{-1} \quad (2)$$

где $[\mathcal{E}_i]$ – массовый процент i -го элемента в растворе; $M_i^{\mathcal{E}}$ – атомная или мольная масса i -го компонента; k – число компонентов раствора.

Влияние температуры на коэффициенты активности учитывали выражением

$$\ln \gamma(T) = T \times 1873^{-1} \times \ln \gamma_i^k, \quad (3)$$

где T – температура, при которой рассчитывали коэффициенты активности.

Растворимость углерода в твердом растворе определяли по уравнению

$$\log C_{\text{пр}} = -6100 \times T^{-1} + 4,83. \quad (4)$$

Растворимость углерода в жидком железе определяли по выражению

$$[C_{\text{пр}}] = 1,3 + 2,57 \times 10^{-3} \times T. \quad (5)$$

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
8	1,0086	1,0077	1,0068	1,006
9	1,0012	1,0011	1,0054	1,0008
10	0,926	0,934	0,941	0,949
11	0,951	0,956	0,961	0,966

Таблица 3 – Предельная растворимость углерода в железе

Предельная растворимость, %	Температура, К				
	1873	1673	1473	1273	1073
$C_{\text{пр}}$	6,11	5,6	4,88	1,09	0,14

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 вводом карбидов.

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

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

Литература

- Каковкин О.С. Особенности легирования наплавленного металла карбидом титана при дуговой износостойкой наплавке / Каковкин О.С., Дарахвелидзе Ю.Д., Старченко Г.Г. // Сварочное производство. – 1999. – №5. – С. 41–42.
- Бармин Е.Л. Разработка износостойких наплавочных материалов и технология их наплавки / Бармин Е.Л., Гусев В.П. // Современные способы наплавки. – К.: ИЭС им. Е.О. Патона, 1987. – С. 47.
- Хасуи А. Наплавка и напыление / Хасуи А., Моригаки О. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.
- Справочник по практическому металлосведению / В.Л. Пилюшенко, Б.Б. Винокур, С.Е. Кондратюк и др. – К.: Техніка, 1984. – 135 с.
- Ивабути Ё. Влияние выделения карбидов на вязкость литой стали 13Cr – 3,8Ni / Ивабути Ё. Всесоюзный центр переводов. – М.: 1984. Статья из журн. Тэцу то хаганэ. – 1983. – Т.69, №11. – С. 1502–1509.

References

- Kakovkin, O.S., Darahvelidze, U.D. & Starchenko, G.G. Osobennosti legirovaniya naplavlennogo metalla karbidom titana pri dugovoj iznosostojkoj naplavke. [Features of Alloying of the Weld Metal with Titanium Carbide in Arc Wear-resistant Surfacing]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding manufacture Vol. 5, 41-42* [in Russia].
- Barmin, E.L. & Gusev, V.P. Razrabotka iznosostojkih naplavochnyh materialov i tekhnologiya ih naplavki. [Development of wear-resistant surfacing materials and technology of their surfacing]. *Sovremennye sposoby naplavki* -

- Modern ways hardfacing*. Kiev: IEHS im. E.O.Patona, 47 [in Russia].
3. Hasui, A. & Morigaki, O. (1985). *Naplavka i napylenie*. [Surfacing and spraying]. Moscow: Mashinostroenie [in Russia].
 4. Pilyushenko, V.L., Vinokur, B.B. & Kondratyuk, S.E. *Spravochnik po prakticheskomu metallovedeniyu* [Handbook of practical metal science]. Kiev: Tekhnika, [in Russia].
 5. Ivabuti, Y.O. (1984). Vliyanie vydeleniya karbidov na вязкость литой стали 13Cr – 3,8Ni. [Influence of Allocation of Carbides on Viscosity of a Cast Steel 13Cr – 3,8Ni]. *Stat'ya iz zhurn. Tehcu to haganeh*. Vol. 69, 11, 1502-1509 [in Russia].

Багров Валерий Анатольевич – к.т.н., доцент, профессор, кафедра технологии металлов и материаловедения, тел. +38 063 950 074 99, havetabanca@ukr.net
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

EFFECTS OF TITANIUM CARBIDES FORMATION ON INTERNAL HEAT OF WELDING BATH Bagrov V., KhNAHU

Abstract. Problem. At present, precious alloy with alloying elements, which are scarce and expensive in Ukraine, are used to increase the durability of the die tool. In this regard, studies aimed at reducing energy and resource costs while restoring a metalworking tool, enhancing its reliability and durability, are particularly relevant. The goal is to investigate the distribution of the TiC carbide phase in the Cr–Mn–Mo–Ti wear-resistant alloy compounds. Methodologically, the work was carried out in the following way: on the basis of literary sources and industrial research the conditions of the work of dies for hot metal processing were studied. An analysis of existing alloys and their application technologies showed that they all have both advantages and disadvantages. On the basis of this, economically wear-resistant alloys of the Cr–Mn–Mo–Ti system on the basis of iron with a limited content of chromium (up to 3 %) and molybdenum (up to 5%) were developed, as well as the technology of their application with an exhausted additive which is fed to the main part of the welding baths. **Results.** Application of surfacing with powdered wires with exogenous introduction of carbides into a weld bath promotes a more even distribution of the carbide phase in the volume of metal compared with the endogenous carbide entrance. In this case, increasing the content of Mn and Cr in the welded metal reduces the activity of carbon as a carbide-forming element. An increase in the carbide phase of TiC increases the internal heat of the weld metal when it is exogenously introduced. **Practical significance.** Warehouses of wear-resistant coatings with limited content of scarce alloying elements have

been developed as well as the technology of application. The use of developed wear-resistant alloys and technologies for their application allowed to reduce the concentration of alloying elements, the complexity of the thermal treatment of recovered stamps, the relative weight of flux and the share of electricity consumption, to improve the basic technological parameters of surfacing.

Key words: surfacing, cored wire, alloying, carbides, activity of elements.

ВПЛИВ УТВОРЕННЯ КАРБІДУ ТИТАНУ НА ВНУТРІШНЮ ТЕПЛОТУ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ВАННИ Багров В.А., ХНАДУ

Анотація. Проблема – в наш час для підвищення довговічності штампового інструменту застосовуються дорогі сплави з легуючими елементами, які в Україні є дефіцитними та дорогими. У зв'язку з цим, дослідження, які спрямовані на зниження енерго- і ресурсозатрат при відновленні металообробального інструменту та одночасне підвищення його надійності та довговічності, є особливо актуальними. Ціль – дослідження розподілу карбідної фази TiC у зносостійких наплавочних сплавах системи Cr–Mn–Mo–Ti. Методологічно робота виконана таким чином: на основі літературних джерел та виробничих досліджень вивчено умови роботи штампів для гарячої обробки металу. Аналіз існуючих сплавів та технологій їх нанесення показав, що всі вони мають як переваги, так і недоліки. На основі цього були розроблені економічно збалансовані зносостійкі сплави системи Cr–Mn–Mo–Ti на основі заліза з обмеженим вмістом хрому (до 3 %) та молібдену (до 5 %) і запропоновано технологію їх нанесення зі знеструмленою присадкою, яка подається у головну частину зварювальної ванни. Результати – застосування наплавлення порошковими дротами з екзогенним введенням карбідів у зварювальну ванну сприяє більш рівномірному розподілу карбідної фази в об'ємі металу в порівнянні з ендогенним вводом карбідів. При цьому збільшення вмісту Mn і Cr в наплавленому металі знижує активність вуглецю як карбідотворюючого елемента. Збільшення кількості карбідної фази TiC підвищує внутрішню теплоту наплавленого металу при екзогенному її введенні. Практична значущість – розроблені склади зносостійких покриттів з обмеженим вмістом дефіцитних легуючих елементів і технологія їх нанесення. Використання розроблених зносостійких сплавів і технологій їх нанесення дозволило знизити концентрації легуючих елементів, зменшити трудомісткість термічної обробки відновленого штамп, зменшити відносну масу флюсу і долю витрат електроенергії, підвищити основні технологічні показники наплавлення.

Ключові слова: наплавка, порошковий дріт, легування, карбіди, активність елементів.