

УДК 621.791.92

ЛЕГИРОВАНИЕ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ТИТАНОМ ЧЕРЕЗ ФЕРРОТИТАН И КАРБОНИТРИД ТИТАНА В СОСТАВЕ ШИХТЫ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ

Н. В. КОБЕРНИК^{1,2}, А. С. ПАНКРАТОВ^{1,2}, Ю. В. АНДРИЯНОВ^{1,2}

¹Научно-исследовательский центр «Сварка и контроль» при Московском государственном техническом университете имени Н. Э. Баумана

²Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана
Москва, Россия

Одной из актуальных проблем промышленности на сегодняшний день является проблема абразивного износа. Интенсивное воздействие абразивной среды способствует преждевременному выводу оборудования из эксплуатации, что влечет за собой значительные экономические потери. Одним из способов продления ресурса является дуговая наплавка порошковыми проволоками. Основное преимущество порошковых проволок, по сравнению с проволоками сплошного сечения, – более широкий диапазон легирования наплавленного металла.

Для повышения стойкости к абразивному износу наплавленный металл легируют хромом, углеродом, бором, титаном и другими элементами, вводя их в шихту порошковых проволок через ферросплавы, карбиды и другие химические соединения [1–6].

Одним из перспективных химических элементов для легирования наплавленного металла является титан. Он способствует повышению твердости и износостойкости наплавленного металла. Введение титана в состав шихты порошковых проволок возможно через чистый порошок титана, ферросплав, карбид и другие химические соединения. Причем введение титана через тот или иной компонент шихты может характеризоваться различным влиянием на структуру и свойства наплавленного металла. Так, например, в предыдущих работах показано, что при введении в состав шихты порошковых проволок карбидов титана возможно легирование наплавленного металла по двум механизмам: *in-situ* и *ex-situ*. В данном случае наблюдалось частичное расплавление и сохранение карбида титана, что способствовало повышению твердости и износостойкости наплавленного металла [7–9].

Однако легирование наплавленного металла титаном возможно и через другие компоненты шихты. Одни из таких компонентов – это ферросплав титана и карбонитрид титана. Подход легирования титаном достаточно известный и существует множество работ в этом направлении [10–13]. Однако мало кто сравнивал различия в результатах легирования тем или иным компонентом.

В связи с этим основной целью данной работы является исследование влияния результатов легирования наплавленного металла титаном через карбонитрид титана и ферротитан, введенных в состав шихты порошковых проволок, на структуру и свойства наплавленного металла.

Для проведения исследования были изготовлены три экспериментальные порошковые проволоки: ПП-1, ПП-2 и ПП-3, системы легирования

Fe–C–Cr–Nb–B–Ti диаметром 2,2 мм. Химический состав порошковых проволок представлен в табл. 1.

Табл. 1. Химический состав порошковых проволок

Маркировка	Количество химических элементов, масс. %							
	Cr	C	B	Nb	Ti	N	Si	Fe
ПП-1	19,93	4,10	1,48	4,33	0,67	0,09	0,45	Ост.
ПП-2	19,93	3,94	1,48	4,33	0,33	–	0,51	
ПП-3	19,93	3,94	1,48	4,33	0,72	–	0,61	

Проволоки ПП-1, ПП-2 и ПП-3 отличаются наличием и количеством в составе шихты ферротитана, карбонитрида титана и карбоната калия. Проволока ПП-1 содержала в составе шихты 2 % TiCN и 3 % KCO₃. Проволоки ПП-2 и ПП-3 были изготовлены на базе проволоки ПП-1. Отличие проволоки ПП-2 заключалось в замене карбонитрида титана на ферротитан. В проволоке ПП-3 вместо карбонитрида титана и карбоната кальция был введен ферротитан.

Наплавку экспериментальных порошковых проволок выполняли полностью механизированным способом в смеси 82 % Ar + 18 % CO₂. Наплавку выполняли в три слоя на токе 320...350 А и напряжении 32 В со скоростью сварки 16 м/ч.

По результатам микроструктурного анализа установлено, что наплавленный металл порошковой проволокой ПП-1 в первом слое имеет доэвтектическую структуру с аустенитными дендритами, во втором и третьем слоях структура заэвтектическая с иглообразными карбидами хрома. Структура наплавленного металла порошковыми проволоками ПП-2 и ПП-3 отличается от наплавленного металла порошковой проволокой ПП-1. В первом слое обеих наплавов наблюдается мартенситная структура, во втором слое наплавленного металла порошковой проволокой ПП-2 – доэвтектическая, а при наплавке проволокой ПП-3 – заэвтектическая. В третьем слое у обоих образцов заэвтектическая структура с иглообразными карбидами хрома.

Отличие микроструктур наплавленного металла объясняется в первую очередь различным содержанием титана и азота в шихте порошковых проволок. Отношение Cr/C также различно (4,86 – для проволоки ПП-1; 5,06 – для проволок ПП-2 и ПП-3). Поскольку в проволоках ПП-1 и ПП-3 практически в 2 раза больше титана, чем в ПП-2, который является сильнейшим раскислителем, то это способствует предотвращению окисления углерода и дополнительному снижению отношения Cr/C. За счет этого в микроструктуре наплавленного металла проволоками ПП-1 и ПП-3 уже во втором слое наблюдается заэвтектическая структура с иглообразными карбидами хрома. Наличие в первом слое наплавленного металла проволокой ПП-1 доэвтектической структуры с аустенитными дендритами, вероятнее всего, связано с легированием наплавленного металла азотом.

Результаты показателей твердости наплавленного металла, приведенные в табл. 2, свидетельствуют о том, что с повышением содержания титана в наплавленном металле увеличивается и значение твердости. Однако при легировании наплавленного металла титаном через карбонитрид титана, введенного в состав шихты порошковой проволоки, одновременно происходит легирование

азотом, что способствует увеличению доли аустенита в структуре. За счет этого наблюдается снижение твердости наплавленного металла порошковой проволокой ПП-1, по сравнению с наплавленным металлом порошковой проволокой ПП-3, при их практически одинаковом содержании титана.

Табл. 2. Значения твердости наплавленного металла

Маркировка	Твердость наплавленного металла по шкале HRC		
	Первый слой	Второй слой	Третий слой
ПП-1	60	64	63
ПП-2	58	62	64
ПП-3	59	64	67

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Козырев, Н. А.** Эксплуатационные показатели новых порошковых проволок для наплавки / Н. А. Козырев, А. А. Усольцев, Р. Е. Крюков // Вестн. Рос. акад. естественных наук. Западно-Сибирское отд-ние. – 2019. – № 22. – С. 85–105.
2. **Гусев, А. И.** Влияние введения вольфрама и хрома на свойства металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe–C–Si–Mn–Mo–Ni–V–Co / А. И. Гусев, Н. А. Козырев, Н. В. Кибко // Заготовительные производства в машиностроении. – 2019. – Т. 17, № 2. – С. 56–60.
3. **Eremin, E. N.** Tribological properties and wear resistance of the metal deposited by chromium flux-cored wire with carbide-boride alloying / E. N. Eremin // IOP Conference Series: Journal of physics. – 2020. – Vol. 1441. – Art. 012004.
4. **Wang, Y.** Microstructure and property of tungsten carbide particulate reinforced wear resistant coating by TIG cladding / Y. Wang // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2021. – Vol. 100. – P. 105598–105633.
5. Влияние карбида кремния, вводимого в шихту порошковой проволоки, на структуру наплавленного металла / Н. В. Коберник [и др.] // Металлург. – 2023. – № 2. – С. 70–75.
6. **Kobernik, N. V.** Application of chromium carbides in surfacing materials intended for obtaining of abrasion resistant coatings / N. V. Kobernik, A. S. Pankratov, R. S. Mikheev // Vestnik Mashinostroeniya. – 2020. – № 9. – P. 64–68.
7. **Лившиц, Л. С.** Основы легирования наплавленного металла / Л. С. Лившиц, Н. А. Гринберг, Э. Г. Куркумелли. – Москва: Машиностроение, 1969. – 188 с.
8. Формирование композиционной структуры системы Fe–Cr–C + TiC при дуговой наплавке с применением присадочной порошковой проволоки / Н. В. Коберник [и др.] // Заготовительные производства в машиностроении. – 2022. – Т. 20, № 12. – С. 536–544.
9. **Коберник, Н. В.** Исследование влияния TiC и NbC, вводимых в шихту порошковых проволок, на формирование композиционной структуры наплавленного износостойкого покрытия / Н. В. Коберник, А. С. Панкратов, Ю. В. Андриянов // Вестн. Пермского нац. исслед. политехн. ун-та. Машиностроение, материаловедение. – 2023. – Т. 25, № 2. – С. 5–15.
10. **Bembenek, M.** Microstructure and Wear Characterization of the Fe–Mo–BC – Based Hardfacing Alloys Deposited by Flux-Cored Arc Welding / M. Bembenek // Materials. – 2022. – Vol. 15, № 14. – P. 5074–5096.
11. **Вайцехович, С. М.** Легирование сталей аустенитно-мартенситного класса наноразмерными порошковыми модификаторами / С. М. Вайцехович, А. И. Кузин, Е. А. Мысливцев // Вестн. НПО Техномаш. – 2020. – № 1 (10). – С. 56–68.
12. **Соколов, Г. Н.** Влияние азота и частиц карбонитрида титана на структуру и свойства металла системы Fe–C–Cr–Ni–Mo, наплавленного порошковой проволокой / Г. Н. Соколов, А. А. Артемьев, Ю. Н. Дубцов // Омский науч. вестн. – 2018. – № 2 (158). – С. 15–19.
13. **Литвиненко-Арьков, В. Б.** Структура и свойства термостойкого металла, наплавленного порошковыми проволоками с наночастицами TiCN / В. Б. Литвиненко-Арьков, Г. Н. Соколов, Ф. А. Кязимов // Изв. Волгоградского гос. техн. ун-та. – 2012. – № 9 (96). – С. 194–197.