

УДК 621.791.92

Влияние схемы ввода присадочной порошковой проволоки с наполнителем из плакированного TiC на структуру наплавленного металла

Коберник Николай Владимирович^{1,2}

koberniknv@yandex.ru

SPIN-код: 3954-8785

Панкратов Александр Сергеевич^{1,2}

aspankratov@bmstu.ru

SPIN-код: 9991-1813

Андриянов Юрий Владиславович^{1,2}

ayv@bmstu.ru

SPIN-код: 5856-2890

¹ НУЦСК при МГТУ им. Н.Э. Баумана», Москва, Россия

² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрено влияние схемы ввода присадочной порошковой проволоки с шихтой из карбида титана, часть которого плакирована никелем, на формирование структуры наплавленного металла при наплавке неплавящимся вольфрамовым электродом. Показано, что схема ввода присадочной проволоки оказывает влияние как на количество сохраненного карбида титана, так и на размер и количество восстановленного карбида титана в процессе кристаллизации расплава сварочной ванны. В работе показано, что, с точки зрения обеспечения большего количества сохраненного TiC, целесообразней применение схемы ввода присадочной проволоки со стороны хвостовой части сварочной ванны.

Ключевые слова: наплавка, карбид титана, присадочная порошковая проволока, микроструктура, плакирование, комплексное легирование

The influence of the injection scheme of flux - cored filler wire with clad TiC filler on the structure of the deposited metal

Kobernik Nikolay Vladimirovich^{1,2}

koberniknv@yandex.ru

SPIN-code: 3954-8785

Pankratov Aleksander Sergeevich^{1,2}

aspankratov@bmstu.ru

SPIN-code: 9991-1813

Andriianov Iurii Vladislavovich^{1,2}

ayv@bmstu.ru

SPIN-code: 5856-2890

¹ Scientific Educational Center Welding and Control at BMSTU, Moscow, Russia

² BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The influence of the scheme of input of the filler flux-cored wire with a charge of titanium carbide, part of which is plated with nickel, on the formation of the structure of the deposited metal during surfacing with a non-consumable tungsten electrode is considered. It is shown that the scheme of input of the filler wire affects both the amount of preserved titanium carbide and the size and amount of reduced titanium carbide during the crystalli-

zation of the melt of the weld pool. The work shows that, from the point of view of ensuring a greater amount of preserved TiC, it is more expedient to use the scheme of input of the filler wire from the tail part of the weld pool.

Keywords: *surfacing, titanium carbide, filler powder wire, microstructure, cladding, complex alloying*

Введение. Абразивное изнашивание различных деталей и узлов оборудования является актуальной проблемой промышленности на сегодняшний день [1, 2]. Одним из способов продления ресурса и срока эксплуатации изделий, подверженных данному воздействию, является нанесение на их поверхности специальных износостойких покрытий методом дуговой наплавки порошковыми проволоками. Применение в качестве наплавочных материалов проволок с порошковым сердечником позволяет расширить диапазон легирования наплавленного металла, что способствует повышению технологических свойств наплавленного покрытия [3, 4].

Одним из актуальных подходов к легированию наплавленного износостойкого покрытия является подход комплексного легирования, который заключается во введении в наплавленный металл армирующих компонентов в готовом виде. Одним из таких компонентов является карбид титана. Однако ввиду высокотемпературного воздействия дуги и сварочной ванны, данный карбид при попадании в ванну расплавленного металла частично растворяется. С целью повышения количества сохраненного карбида титана в наплавленном металле целесообразно осуществлять ввод данного компонента через присадочный материал, что будет способствовать снижению теплового воздействия [5].

Еще одним перспективным направлением повышения количества сохраненного карбида титана в наплавленном металле является осуществление его плакирования для экранирования теплового воздействия дуги и сварочной ванны.

В связи с вышеизложенным, в данной работе приведены результаты по исследованию влияния схемы ввода присадочной порошковой проволоки с наполнителем из порошков карбида титана, часть которого плакированного никелем, на структуру наплавленного металла при наплавке неплавящимся электродом.

Материалы и методы. Исследования проводили с применением присадочной порошковой проволоки диаметром 1,6 мм, шихта которой состояла частично из карбида титана марки «Ч» по ТУ 6-09-492–75 и этого же карбида титана, плакированного порошком никеля марки ПНК-УТЗ по ГОСТ 9722. Плакирование частиц карбида титана никелем осуществляли при их совместной высокоэнергетической обработке в планетарной мельнице на режимах, полученных на предыдущем этапе исследования [6].

Наплавку проводили неплавящимся вольфрамовым электродом марки WL-20 диаметром 2,4 мм по двум схемам в три слоя. По первой схеме присадочную проволоку подавали по переднему фронту сварочной ванны (рис. 1, а), а по

второй схеме подача проволоки осуществлялась со стороны хвостовой части сварочной ванны (рис. 1, б). Режимы наплавки для обеих схем были следующие: ток сварки 180–190 А, напряжение на дуге 16–18 В, скорость наплавки 5,0–5,5 м/ч, скорость подачи присадочной проволоки 0,50–0,55 м/мин, расход защитного газа 7 л/мин.

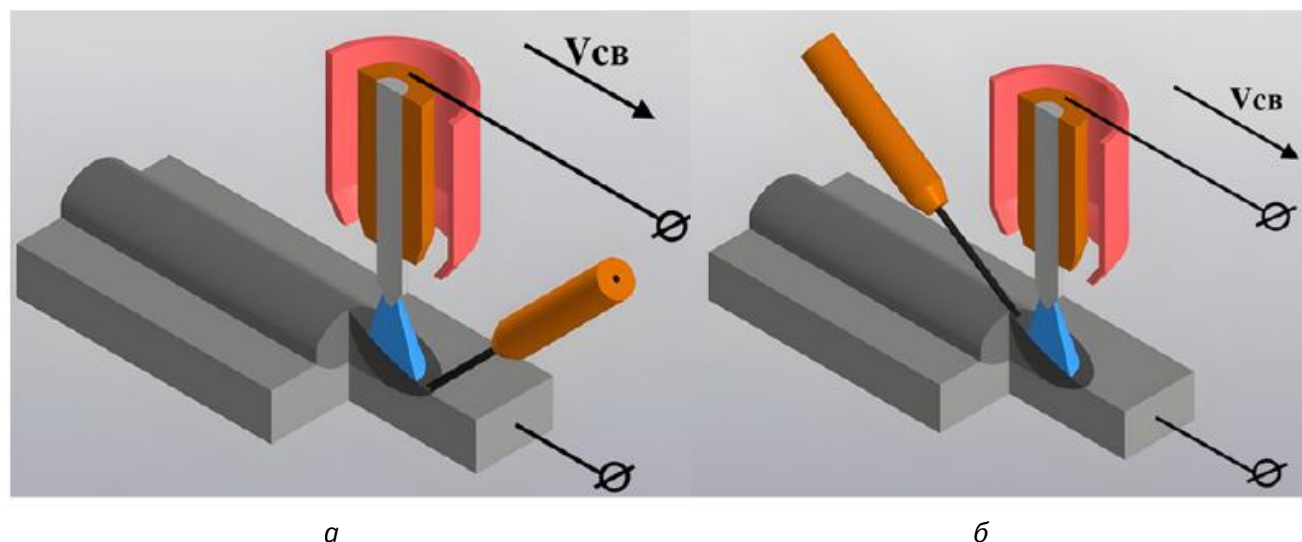


Рис. 1. Схемы подачи присадочной проволоки при наплавке неплавящимся электродом: *а* — подача присадочной проволоки по переднему фронту сварочной ванны (схема № 1); *б* — подача присадочной проволоки со стороны хвостовой части сварочной ванны (схема № 2)

Анализ микроструктуры наплавленного металла проводили после травления образцов в 4 %-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте с помощью оптической микроскопии с использованием микроскопа Axiovert 200MAT/200 M MAT и PCMA на микроскопе марки VEGA TESCAN.

Количественный анализ частиц карбида титана в наплавленном металле проводили с применением программы ImageJ. Фотографии микроструктуры загружали в программу, которая с помощью заложенных функций определяла содержание необходимой фазы.

Результаты и их обсуждения. Микроструктуру наплавленных покрытий можно охарактеризовать как композиционную, состоящую и из металлической матрицы на железной основе, легированную никелем, титаном и углеродом. В матрице наблюдаются частицы крупного (сохраненного) карбида титана (рис. 2) размером, соизмеримым с исходным порошком, и мелкодисперсного карбида титана микронного размера, образованные в результате кристаллизации расплава сварочной ванны.

Из анализа сохраненных частиц TiC установлено, что карбид титана, попадая в расплав сварочной ванны, хорошо смачивается расплавом, который попадает во все трещины карбидов, что способствует надежной фиксации упрочняющей фазы в наплавленном покрытии. Наличие сохраненных частиц карбида титана установлено во всех слоях наплавленного металла, однако наибольшая их концентрация характерна верхним слоям, что объясняется

низкой плотностью карбида титана, которая ниже плотности расплава сварочной ванны.

Количество сохраненного карбида титана напрямую зависит от схемы ввода присадочной порошковой проволоки. Так, при подаче проволоки со стороны головной части сварочной ванны (схема № 1) количество сохраненного карбида в структуре наплавленного металла составляет 2,1 %, а при ее подаче по схеме № 2 количество сохраненного TiC увеличивается до 2,6 %, что объясняется снижением температурного воздействия на шихту порошковой проволоки при вводе проволоки в сварочную ванну со стороны хвостовой части.

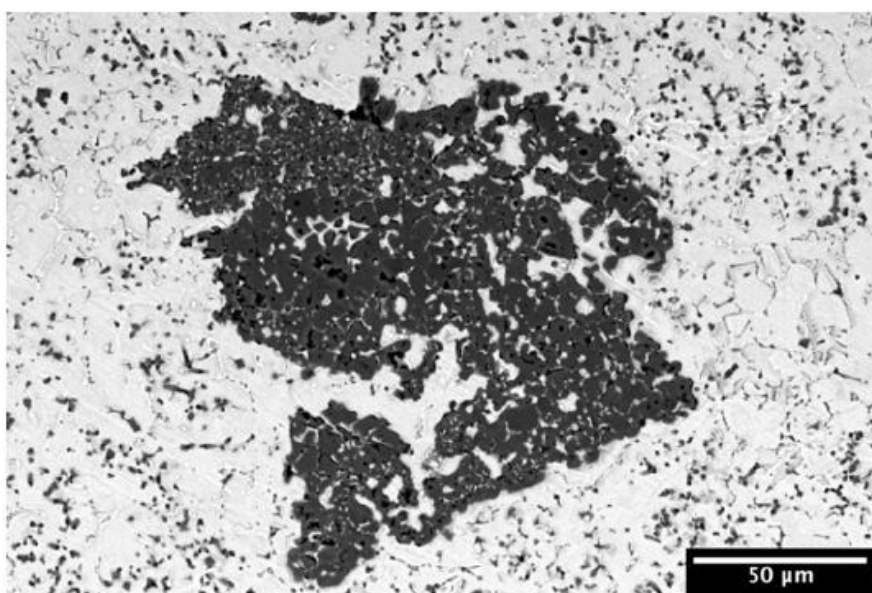


Рис. 2. Частица сохраненного карбида титана при наплавке присадочной проволоки по схеме № 1

Мелкодисперсные частицы карбида титана, образованные в результате кристаллизации расплава сварочной ванны, равномерно распределены по всем слоям наплавленного металла, что свидетельствует о природе их образования.

Схема ввода присадочной проволоки также оказывает значительное влияние на формирование данной фазы в наплавленном металле. При подаче присадочной проволоки по схеме № 1 (рис. 3, а) наблюдается рост как размера (с 2,05 до 2,51 мкм), так и количества (с 10,1 до 14,9 %) данной фазы в сравнении со схемой № 2 (рис. 3, б).

Ввиду более высокотемпературного воздействия на шихту порошковой проволоки при ее подаче по переднему фронту сварочной ванны, наблюдается более интенсивное растворение частиц карбида титана, что способствует их меньшему сохранению в исходном состоянии в наплавленном металле и формированию большего количества восстановленных частиц TiC в наплавленном металле.

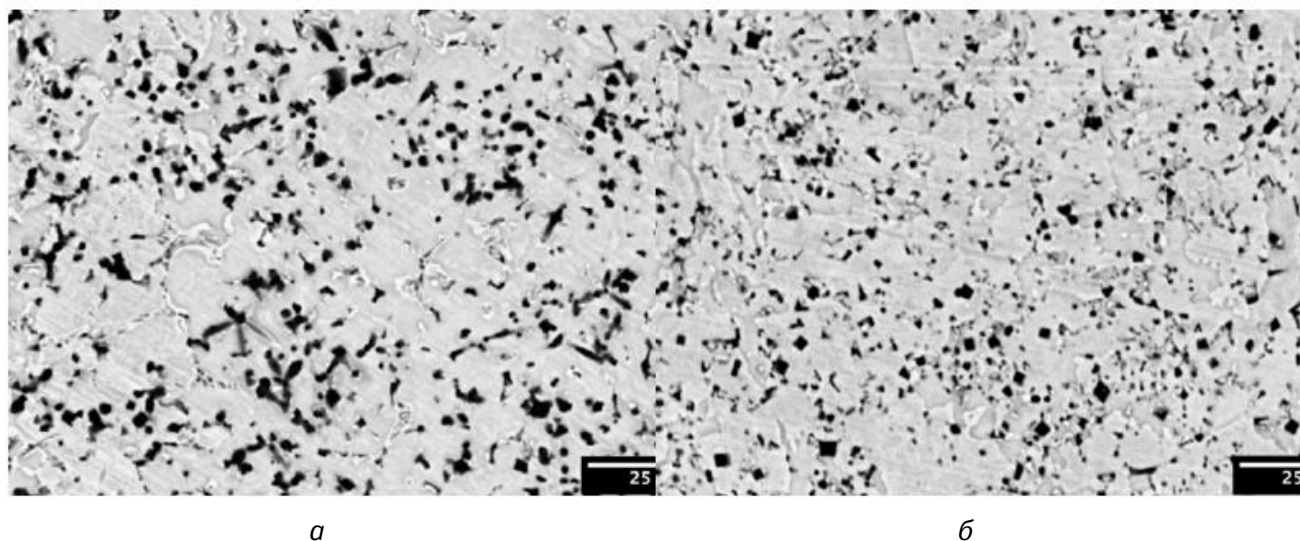


Рис. 3. Микроструктура наплавленного металла:

а — подача присадочной проволоки по схеме № 1; *б* — подача присадочной проволоки по схеме № 2

Закключение. Таким образом, по результатам проведения модельного эксперимента установлено, введение присадочной порошковой проволоки со стороны хвостовой части сварочной ванны способствует большему сохранению частиц карбида титана в наплавленном металле, что связано со снижением температурного воздействия при использовании данной схемы. Увеличение теплового воздействия на шихту порошковой проволоки при наплавке по схеме № 2 способствует более интенсивному растворению крупных частиц карбида титана, что способствует их меньшему сохранению в наплавленном металле. Однако большее растворение частиц TiC способствует росту как размеров, так и количества частиц восстановленного карбида титана.

Работа выполнена в рамках государственного задания. Соглашение от 18.01.2025 № 075-03-2025-289.

Список источников

- [1] Горохов В.А., Девойно О.Г., Иванов В.П. *Восстановление износа деталей машин*. Старый Оскол, ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2020, 380 с.
- [2] Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Колокольников М.Г. *Абразивное изнашивание*. Москва, Машиностроение, 1990, 224 с.
- [3] Соколов Г.Н., Дубцов Ю.Н., Зорин И.В., Атремьев А.А. *Порошковые и композиционные проволоки для сварки и наплавки*. Волгоград, ВГТУ, 2015, 128 с.
- [4] Козырев Н.А., Громов В.Е., Крюков Р.Е. *Структуры и механизмы повышения абразивной износостойкости покрытий, наплавленных порошковыми проволоками*. Санкт-Петербург, Лань, 2025, 108 с.
- [5] Kobernik N.V., Pankratov A.S., Andriyanov Yu.V. Influence of the Titanium Carbide Content in a Filler Powder Wire Charge on the Structure of the Weld Metal. *Russian Metallurgy (Metal-ly)*, 2024, vol. 2024, № 6, pp. 1268–1273. <https://doi.org/10.1134/S003602952470232X>
- [6] Коберник Н.В., Панкратов А.С., Андриянов Ю.В., Галиновский А.Л. Плакирование порошков карбида титана никелем для применения в порошковых проволоках. *Электроталлургия*, 2025, № 13, с. 18–26. <https://doi.org/10.31044/1684-5781-2025-0-13-18-26>