



УДК 621.791.92.042

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ КАРБИДОВ В ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОКАХ НА СВОЙСТВА ТЕПЛОУСТОЙЧИВОГО НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

И. А. РЯБЦЕВ, И. А. КОНДРАТЬЕВ, кандидаты техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),

Н. Ф. ГАДЗЫРА, д-р техн. наук, **Н. К. ДАВИДЧУК**, канд. техн. наук
(Ин-т проблем материаловедения им. И. М. Францевича НАН Украины),

И. Л. БОГАЙЧУК, инж., **Г. Н. ГОРДАНЬ**, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследовано влияние шихтовых материалов порошковых проволок, содержащих ультрадисперсные карбиды, на свойства наплавленного металла, соответствующего по составу инструментальным сталям. Установлено, что применение таких шихтовых материалов приводит к измельчению структуры наплавленного металла и более равномерному распределению в нем легирующих элементов. При этом термостойкость и износостойкость наплавленного металла повышаются.

Ключевые слова: наплавка, порошковые проволоки, микроструктура, ультрадисперсные карбиды и композиции, свойства наплавленного металла

Широко известен факт взаимосвязи между структурой и свойствами наплавленного металла [1–3 и др.]. Однако при изучении закономерностей формирования структуры наплавленного металла основное внимание, как правило, уделялось его химическому составу и термическому циклу наплавки. При этом недостаточно исследовалась проблема связи между исходной структурой присадочных или электродных материалов и структурой наплавленного металла. Между тем, в системе наплавочный материал–сварочная ванна–наплавленный металл может проявляться «структурная наследственность» [4, 5], когда наплавленный металл как бы наследует структуру исходных наплавочных материалов по размеру зерна, составу, размерам и распределению упрочняющих (карбидов, карбонитридов, боридов и др.), а также неметаллических включений, которые загрязняют наплавленный металл, что отрицательно сказывается на его эксплуатационных свойствах.

Целью настоящей работы было исследование влияния ультрадисперсных карбидных композиций, вводимых в шихту порошковых проволок, на свойства наплавленного металла. Ультрадисперсные карбидные композиции получали путем высокотемпературной обработки в среде углекислого газа порошков высокоуглеродистого феррохрома ФХ800, феррованадия ФВд50 и вольфрама. При этом в каждый из порошков добавляли природный коллоидный графит.

Растровую электронную микроскопию карбидных композиций выполняли на микроскопе «Superprobe 733», а просвечивающую электронную микроскопию — на приборе ПЭМУ-125. Образцы для исследований подготавливали с использованием стандартных методик препарирования.

На рис. 1 показан внешний вид ультрадисперсных карбидных частиц, синтезированных из порошка феррохрома ФХ800 и природного коллоидного графита в среде углекислого газа после размола в планетарной мельнице. Из рисунка видно, что основная доля частиц карбидов имеет размеры менее одного микрометра. Есть также частицы и меньшего размера. Наличие крупных частиц не выявлено, что свидетельствует о высокой однородности полученного материала.

Как следует из данных рентгенофазового анализа, структура сплавленного материала характеризуется эвтектическим состоянием карбидных

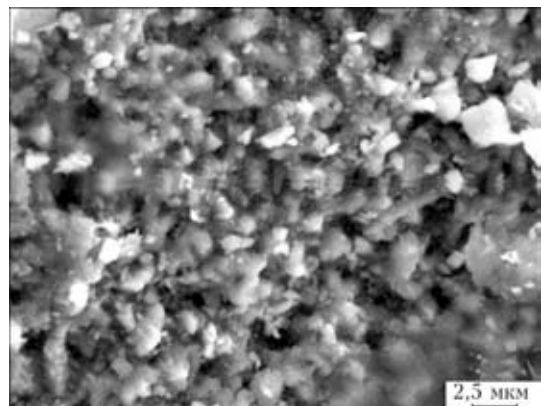


Рис. 1. Внешний вид ультрадисперсных карбидных частиц, синтезированных из порошка феррохрома ФХ800 и природного коллоидного графита после размола



Таблица 1. Содержание углерода в шихтовых материалах

Шихтовый материал	С, мас. %	
	по стандарту	после обработки
Феррохром ФХ800	7,80	11,0
Феррованадий ФВд50	0,46	4,70
Порошок вольфрама	≤ 0,01	4,10

композиций Fe_7C_3 и Cr_7C_3 . Проявление характерного полосчатого контраста позволяет оценивать размеры карбидной эвтектики. Размеры карбидных композиций составляют 50...120 нм (рис. 2).

Ультрадисперсные карбидные композиции предполагалось использовать в шихте порошковых проволок ПП-Нп-35В9Х3ГСФ и ПП-Нп-30Х4В2М2ФС, которые применяются при наплавке инструментов для горячей обработки металлов давлением [6] и обеспечивают получение наплавленного металла типа теплостойких штамповых сталей. Как следует из работы [7], структурная неоднородность наплавленного металла этого типа оказывает значительное влияние на работоспособность инструментов и оснастки для горячей обработки металлов давлением, восстановленных дуговой наплавкой.

После обработки в среде углекислого газа в порошках резко повысилось содержание углерода (табл. 1).

Порошковая проволока ПП-Нп-35В9Х3ГСФ изготовлена в двух вариантах: Оп-1 и Оп-2 — соответственно шихта с использованием необработанного (стандартная) и обработанного порошка вольфрама. Порошковая проволока ПП-Нп-30Х4В2М2ФС также изготовлена в двух вариантах: Оп-3 и Оп-4 — соответственно стандартная шихта и с использованием обработанных порошков феррохрома и феррованадия. Расчетный состав шихты порошковых проволок корректировали таким образом, чтобы получить наплавленный металл одинакового химического состава.

Для определения химического состава наплавленного металла и его твердости опытными порошковыми проволоками выполнена наплавка образцов (табл. 2). Установлено, что химический состав и твердость металла, наплавленного порошковыми проволоками всех типов, отвечают

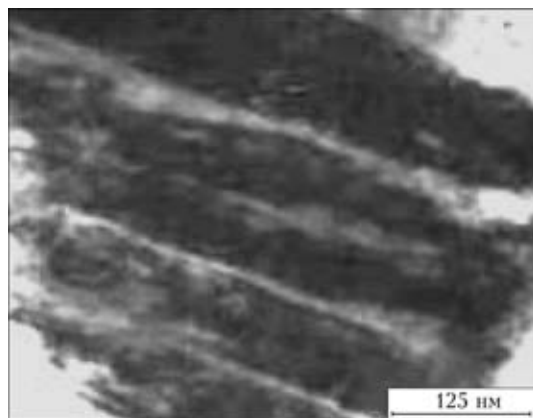


Рис. 2. Микроструктура сплавленных синтезированных ультрадисперсных карбидных порошков на основе феррохрома

требованиям технических условий. Усвоение отдельных легирующих элементов было практически одинаковым не зависимо от компонентов шихты — стандартных или содержащих ультрадисперсные карбиды.

Для проведения металлографических исследований из наплавленных пластин вырезали образцы. Структура металла, наплавленного стандартной порошковой проволокой (Оп-1), включает речный мартенсит (рейки вытянуты в одном направлении) с микротвердостью $HV_{0,5}$ 5930 МПа и небольшого количества остаточного аустенита с микротвердостью $HV_{0,5}$ 5090...5490 МПа (рис. 3, а, б). Обнаружены также включения карбидов.

Структура металла, наплавленного опытной порошковой проволокой Оп-2, имеет несколько иной состав: наряду с речным в нее входит пластинчатый мартенсит (рис. 3, в, г), причем пластины его имеют линзообразную форму, его микротвердость составляет $HV_{0,5}$ 5930 МПа. Содержание остаточного аустенита несколько больше, чем в металле, наплавленном стандартной проволокой, его твердость — $HV_{0,5}$ 4410...5490 МПа. Следует отметить, что введение в шихту опытной порошковой проволоки компонентов, содержащих ультрадисперсные карбиды, приводит к измельчению структуры наплавленного металла, что особенно заметно при большом увеличении (рис. 3, б, г).

Микроструктура металла, наплавленного порошковой проволокой Оп-3, представлена на рис. 3, д, е. Матрица состоит преимущественно из речного мартенсита, имеющего микротвер-

Таблица 2. Химический состав (мас. %) и твердость наплавленного металла

Марка порошковой проволоки	Условное обозначение	С	Мn	Si	Cr	W	Mo	V	Твердость HRC
ПП-Нп-35В9Х3ГСФ	Оп-1	0,39	0,60	1,00	2,97	8,05	—	0,70	51
ПП-Нп-35В9Х3ГСФ	Оп-2	0,34	0,60	1,00	3,00	9,30	—	0,76	54
ПП-Нп-30Х4В2М2ФС	Оп-3	0,37	0,72	1,17	3,97	2,52	1,88	0,44	55
ПП-Нп-30Х4В2М2ФС	Оп-4	0,35	0,70	1,17	3,80	2,33	1,97	0,45	53

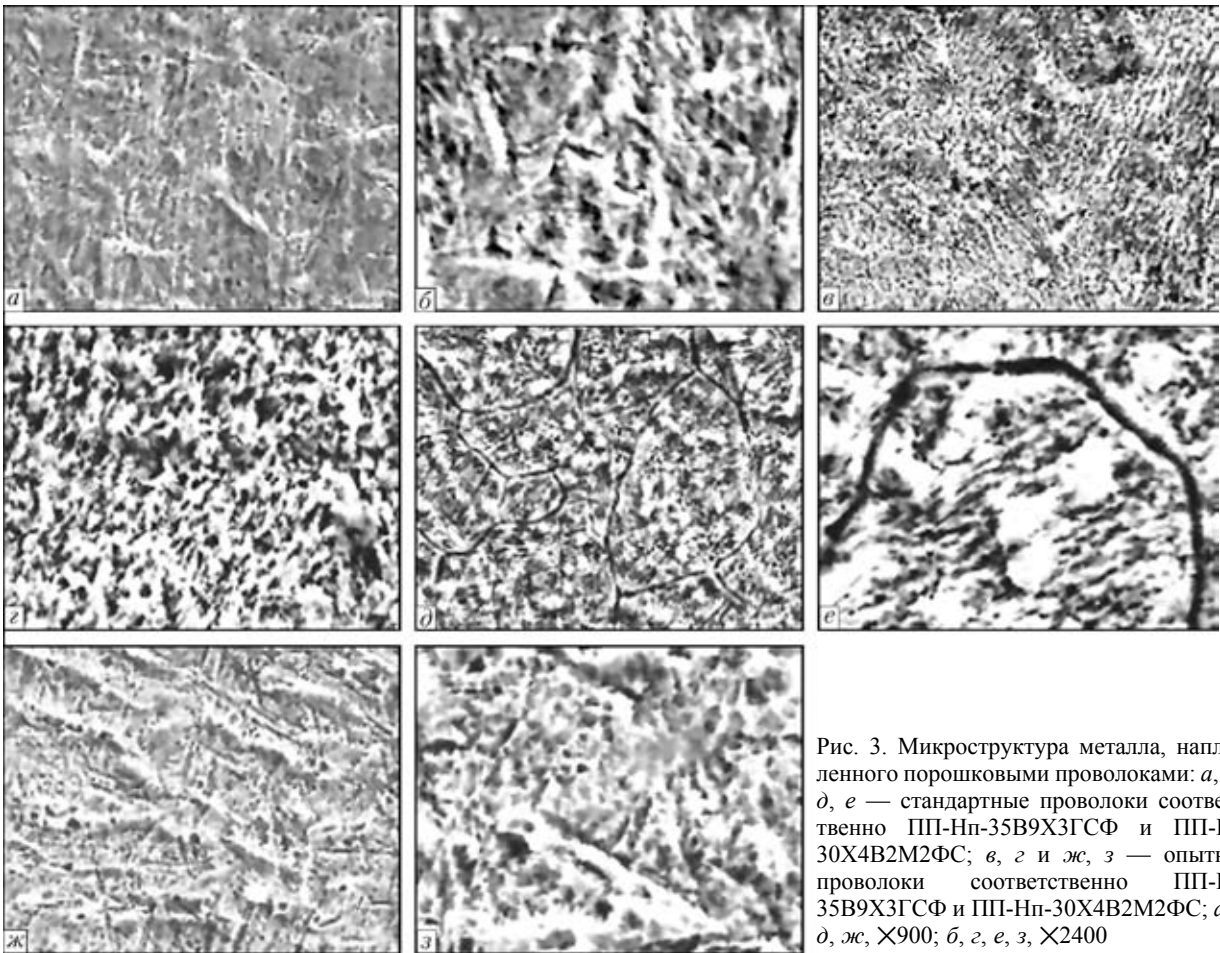


Рис. 3. Микроструктура металла, наплавленного порошковыми проволоками: а, б и д, е — стандартные проволоки соответственно ПП-Нп-35В9Х3ГСФ и ПП-Нп-30Х4В2М2ФС; в, з и ж, з — опытные проволоки соответственно ПП-Нп-35В9Х3ГСФ и ПП-Нп-30Х4В2М2ФС; а, в, д, ж, X900; б, з, е, з, X2400

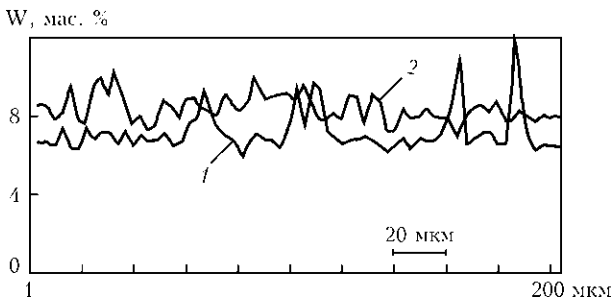


Рис. 4. Распределение вольфрама в металле, наплавленном стандартной Оп-1 (1) и опытной Оп-2 (2) проволоками

дость $HV_{0,5}$ 5490...6440 МПа. По границам гомогенизации сохраняется остаточный аустенит ($HV_{0,5}$ 5020...5090 МПа).

Микроструктура металла, наплавленного опытной порошковой проволокой Оп-4, показана на рис. 3, ж, з. По сравнению с микроструктурой стандартного наплавленного металла ПП-Нп-30Х4В2М2ФС, первая более дисперсна, в ней меньше участков реечного мартенсита, но преобладает пластинчатый мартенсит. Микротвердость мартенситной матрицы составляет $HV_{0,5}$ 5490 МПа. Содержание остаточного аустенита меньше, чем при наплавке стандартной проволокой, его микротвердость — $HV_{0,5}$ 4120...4660 МПа.

Таким образом, исследования показали заметные различия в структуре металла, наплавленного порошковыми проволоками со стандартной и опытной шихтой. В последнем случае изменялось строение мартенситной матрицы, а сама структура наплавленного металла измельчалась.

Однородность распределения основных легирующих элементов в наплавленном металле оценивали на микрорентгеноспектральном анализаторе «Сameбах SX50». Исследования проводили в автоматическом режиме на глубине примерно 100 мкм от поверхности наплавленного металла. Распределение легирующих элементов в металле, наплавленном порошковыми проволоками с использованием опытных шихтовых материалов, было более равномерным, чем в случае применения порошковых проволок со стандартной шихтой. Особенно это заметно на примере такого легирующего элемента, как вольфрам (рис. 4).

Испытания на термостойкость наплавленного металла проводили на установке и по методике [8], предусматривающей нагрев наплавленной поверхности образца размером 40×40×30 мм газовой горелкой до 800 °С (пятно нагрева диаметром 15 мм) с последующим охлаждением струей воды до 60 °С. Циклы нагрев–охлаждение повторяли до появления сетки трещин разгара. Результаты



Таблица 3. Термостойкость наплавленного металла

Марка порошковой проволоки	Условное обозначение	Количество циклов нагрев–охлаждение	
		до появления сетки трещин разгара	до развития сетки трещин разгара
ПП-Нп-35В9Х3ГСФ	Оп-1	60	80
ПП-Нп-35В9Х3ГСФ	Оп-2	70	100
ПП-Нп-30Х4В2М2ФС	Оп-3	40	60
ПП-Нп-30Х4В2М2ФС	Оп-4	60	80

Таблица 4. Износ наплавленных образцов при трении металла по металлу при повышенной температуре

Марка порошковой проволоки	Условное обозначение	Износостойкость $J \cdot 10^{-4}$, кг/км	
		наплавленного образца	контртела
ПП-Нп-35В9Х3ГСФ	Оп-1	2,9705	37,7625
ПП-Нп-35В9Х3ГСФ	Оп-2	2,4589	28,1803
ПП-Нп-30Х4В2М2ФС	Оп-3	2,7429	33,8164
ПП-Нп-30Х4В2М2ФС	Оп-4	1,4529	17,6991

испытаний приведены в табл. 3. Они свидетельствуют о том, что использование в шихте порошковых проволок ультрадисперсных карбидных композиций повышает термическую стойкость наплавленного металла — увеличивается количество циклов нагрев–охлаждение до появления и развития сетки трещин разгара.

Испытания на изнашивание при трении скольжения металла по металлу при повышенной температуре проводили на другом испытательном блоке той же установки [8]. В процессе испытаний наплавленный образец размером 10×17×40 мм прижимали к вращающемуся со скоростью 30 об/мин кольцу-контртелу с усилием 175 Н. Контртело диаметром 120 мм, изготовленное из закаленной стали 45, в процессе испытаний нагревали газовой горелкой. Температура в зоне контакта образца и контртела равна 600 °С, продолжительность испытаний составляла 1 ч. Во время испытаний образец совершал возвратно-поступа-

тельные движения в вертикальной плоскости с амплитудой колебаний 20 мм и частотой 62 мин⁻¹. Результаты испытаний (средние по трем образцам) приведены в табл. 4.

Испытания показали, что износ металла, наплавленного порошковыми проволоками с опытной шихтой, меньше, чем в случае использования проволок со стандартной шихтой. Меньше был и износ контртел, которые испытывали в паре с образцами, наплавленными порошковыми проволоками с опытной шихтой.

Выводы

1. Применение шихтовых материалов, содержащих ультрадисперсные карбиды, способствует измельчению структуры наплавленного металла и более равномерному распределению в ней легирующих элементов.

2. Металл, наплавленный порошковыми проволоками, шихта которых содержит ультрадисперсные карбиды, имеет более высокую термическую и износостойкость при трении скольжения металла по металлу.

1. Фрумин И. И. Автоматическая электродуговая наплавка. — Харьков: Металлургиздат, 1961. — 422 с.
2. Лившиц Л. С., Гринберг Н. А., Куркумелли Э. Г. Основы легирования наплавленного металла. — М.: Машиностроение, 1969. — 185 с.
3. Износостойкость и структура твердых наплавов / М. М. Хрушев, М. А. Бабичев, Е. С. Беркович и др. — М.: Машиностроение, 1971. — 94 с.
4. Рябцев И. А. Структурная наследственность в системе исходные материалы–металлический расплав–твердый металл // Автомат. сварка. — 2006. — № 11. — С. 11–16.
5. Влияние исходной структуры и гранулометрического состава порошка на структуру металла 10P6M5, наплавленного плазменным способом / И. А. Рябцев, Е. Ф. Переплетчиков, И. В. Миц, И. А. Бартенев // Там же. — 2007. — № 10. — С. 23–28.
6. Рябцев И. А., Кондратьев И. А. Механизированная электродуговая наплавка деталей металлургического оборудования. — Киев: Екотехнологія, 1999. — 62 с.
7. Кондратьев И. А., Васильев В. Г., Дзыкович И. Я. Исследование структурной неоднородности наплавленного металла типа 35В9Х3СФ и ее влияние на работоспособность наплавленных прокатных валков // Автомат. сварка. — 1996. — № 6. — С. 17–20.
8. Рябцев И. И., Черняк Я. П., Осин В. В. Блочная установка для испытаний наплавленного металла // Сварщик. — 2004. — № 1. — С. 11–12.

The influence of charge materials of flux-cored wires containing ultradispersed carbides, on the properties of the deposited metal corresponding to tool steels in its composition, was studied. It is established that application of such charge materials results in refinement of the deposited metal structure and more uniform distribution of alloying elements, while the heat- and wear-resistance of the deposited metal is improved.

Поступила в редакцию 16.12.2008