



## ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СТРУКТУРУ КОМПОЗИЦИОННОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ КАРБИДОВ ВОЛЬФРАМА

А. И. БЕЛЫЙ, инж., А. П. ЖУДРА, канд. техн. наук, В. И. ДЗЫКОВИЧ, инж.  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены данные о влиянии легирующих элементов (ниобия, ванадия, титана) на количественное соотношение фаз, образующих матрицу композиционного сплава при плазменной наплавке.

*Ключевые слова:* плазменная наплавка, присадочный материал, матрица композиционного сплава, армирующие частицы

При плазменной наплавке композиционного сплава на базе плавящихся карбидов вольфрама с использованием электрически нейтрального присадочного материала в виде ленточного релита основными структурными составляющими матрицы являются твердый раствор вольфрама в железе, эвтектика и сложные железобольфрамиды [1]. Указанные фазы образуются вследствие растворения армирующих зерен, представляющих собой эвтектический сплав моно- и полукарбидов вольфрама  $WC-W_2C$ , при котором происходит насыщение матричного расплава углеродом и вольфрамом [2].

В предыдущих работах, посвященных раскислению металла сварочной ванны при плазменной наплавке композиционных сплавов, установлено, что степень растворения армирующих частиц снижается при введении в состав присадочного материала кремния, марганца, алюминия [2, 3]. Однако в процессе металлографических исследований раскисленной и нераскисленной матрицы обнаружено значительное количество вторичных железобольфрамидов карбидов размерами 20...30 мкм и грубой эвтектики, наличие которых приводит к охрупчиванию матрицы. Это указывает на недостаточность одного раскисления для наплавки композиционного сплава с необходимыми эксплуатационными свойствами.

Для установления более точной характеристики матрицы, а также прогнозирования износостойкости композиции в целом с помощью структурного анализатора EPIQUANT была проведена количественная оценка структурных составляющих. Содержание вольфрама в фазах определяли методом микрорентгеноспектрального анализа. Результаты исследования количественного состава фаз матрицы приведены в табл. 1.

Основным источником образования неблагоприятных фаз в виде вторичных железобольфрамидов карбидов  $Fe_2W_2C$ ,  $Fe_4W_2C$ ,  $Fe_3W_3C$  и грубой эвтектики является углерод — продукт растворения армирующих зерен. Следовательно, один из перспективных путей создания необходимой структурной организации матрицы — легирование

расплава элементами, имеющими большее сродство к углероду, чем железо и вольфрам, которые позволяют «отнять» углерод у образующихся вторичных железобольфрамидов и образовать свой собственный карбид, но меньшего удельного объема. Данный принцип широко используется для улучшения механических свойств инструментальных сталей, содержащих, кроме вольфрама, 3...5 % хрома [4, 5].

При рассмотрении ряда элементов по убывающей силе сродства к углероду (титан, ниобий, ванадий, вольфрам, молибден, хром, железо) [4], очевидно, что наиболее активными являются ванадий, ниобий, титан. Данные элементы вводили в состав шихты присадочного материала в виде феррованадия, феррониобия и ферротитана. Попытки применить другие компоненты, отличающиеся более высоким содержанием требуемых элементов, дефицитностью и повышенной стоимостью, не дали положительных результатов.

Содержание ферросплавов выбирали таким образом, чтобы обеспечить массовую долю ванадия, ниобия, титана в матрице композиционного сплава от 0,5 до 5,0 %. Верхний предел легирования ограничен увеличением объема матрицы в общем объеме композиции, вызванным высоким содержанием железа в ферросплавах.

Наплавленные образцы исследовали по указанной методике и с помощью растрового микроскопа JSM-T200 японской фирмы «Джеол». Установлено, что эти легирующие элементы оказывают положительное влияние на формирование матрицы и ее структурных составляющих.

**Таблица 1. Влияние раскисляющих элементов на содержание фаз, формирующих матрицу композиционного слоя**

Структурная составляющая	Исследуемая система	Количество фаз в матрице, об. %	Массовая доля вольфрама в фазах, %
Твердый раствор вольфрама в железе	Fe-W-C	24...26	10...16
	Fe-W-C-Al-Si-Mn	33...35	9...14
Эвтектика	Fe-W-C	52...54	36...48
	Fe-W-C-Al-Si-Mn	46...48	35...44
Вторичные карбиды Fe-W-C	Fe-W-C	21...23	68...74
	Fe-W-C-Al-Si-Mn	18...20	68...74



При повышении содержания ниобия до 2 % в составе компонентов, идущих на образование матрицы, усиливается его влияние на структурные составляющие, и в пределах 2...3 % он оказывает наибольший эффект, который выражается в снижении количества вторичных железовольфрамовых карбидов размером 20...25 мкм, по сравнению с нераскисленной матрицей, а также в увеличении доли твердого раствора вольфрама в железе (табл. 2). Структура композиционного сплава в обратнорассеянных электронах и распределение вольфрама в матрице при легировании ее ниобием в характеристическом излучении  $NK_{\alpha}$  приведены на рис. 1, *A1* и *B1*.

Наличие до 1,0...1,5 % ванадия в составе компонентов, образующих матрицу, способствует получению матрицы сплава с более дисперсной структурой. При 1,5...2,5 % ванадия его влияние выражается в снижении размеров вторичных железовольфрамовых карбидов до 12...15 мкм, большинство из которых образуется вблизи армирующих зерен, в зонах, наиболее насыщенных продуктами их растворения. Обнаружено также снижение содержания указанных карбидов и увеличение доли твердого раствора вольфрама в железе — до 46...51 % (табл. 2, рис. 1, *A2*, *B2*). Интересно, что количество вольфрама во всех составляющих мало изменяется при легировании как ниобием, так и ванадием. В случае повышения содержания ванадия в материале свыше 2,5 % заметного его влияния не установлено, за исключением увеличения объема матричного расплава.

Введение в состав компонентов присадочного материала до 1,0...1,5 % титана способствует образованию структурных составляющих аналогично ниобию и ванадию, т. е. увеличению дисперсности матрицы. Дальнейшее повышение содержания титана до 1,5...3,0 % приводит к резкому улучшению качества матрицы. Уменьшаются размеры и количество вторичных железовольфрамовых карбидов в матрице, незначительное содержание которых

**Таблица 2. Влияние легирующих элементов на количество вольфрама в структурных составляющих матрицы композиционного сплава**

Структурная составляющая	Легирующий элемент	Объемная доля, %		Массовая доля вольфрама в фазах, %
		армирующих частиц в сплаве	составляющих в матрице	
Твердый раствор вольфрама в железе	Nb	46	44...49	11...15
	V	48	46...51	12...16
	Ti	47	59...63	9...11
Эвтектика	Nb	46	46...50	33...42
	V	47	47...49	30...43
	Ti	48	31...35	29...40
Вторичные карбиды Fe-W-C	Nb	46	7...11	67...72
	V	47	4...8	66...71
	Ti	48	2...5	54...69

(размером менее 10 мкм) обнаружено в непосредственной близости от границы армирующих зерен.

Кроме того, с помощью микрорентгеноспектрального анализа установлено, что в указанной зоне отмечается повышение содержания титана в структуре, отличающейся малым объемом и приближающейся по составу к карбиду титана. Это подтверждает прогноз о связывании углерода — продукта растворения армирующих частиц. Введение 1,5...3,0 % титана в присадочный материал положительно сказывается и на других структурных составляющих. Эвтектика приобретает мелкодисперсный характер, располагаясь по всему объему матрицы (рис. 1, *A3*, *B3*). Отмечено также более значительное снижение ее содержания в матрице по сравнению с матрицей, легированной ниобием и ванадием. Вместе с тем, уменьшение количества вольфрама в эвтектике не обнаружено. Что касается твердого раствора вольфрама в железе, то зафиксировано существенное повышение его доли в общем объеме матрицы — до 59...63 % (табл. 2).

Следует отметить, что усредненное содержание вольфрама в раскисленной матрице составляет

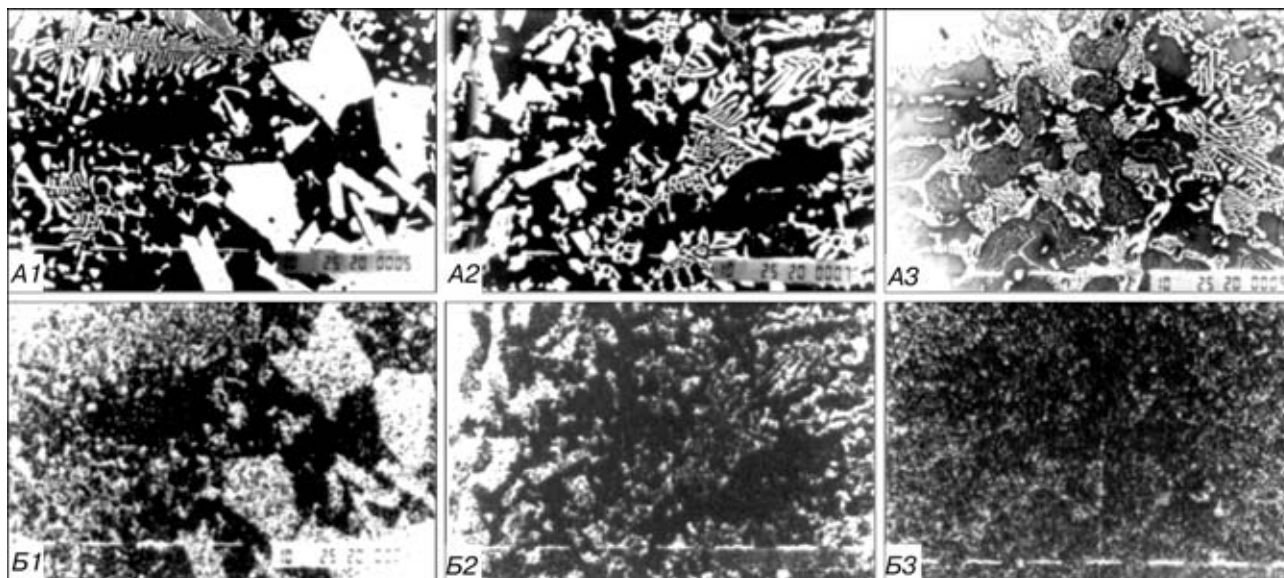


Рис. 1. Микроструктура композиционного сплава в обратнорассеянных электронах (*A1*...*A3*) и распределение вольфрама в матрице в характеристическом излучении (*B1*...*B3*) при различных системах легирования: 1 — ниобием; 2 — ванадием; 3 — титаном

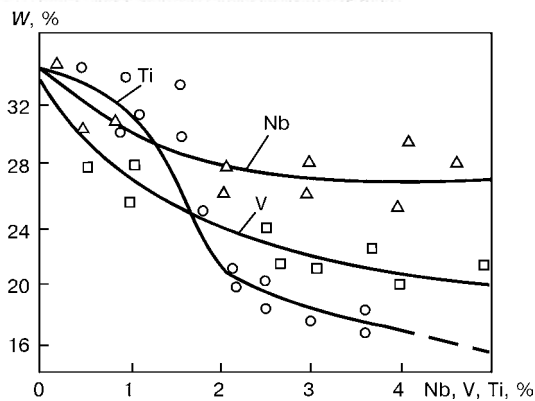


Рис. 2. Влияние легирующих компонентов на содержание вольфрама в матрице композиционного сплава

33...36 %. При введении в присадочный материал до 1,5 % указанных элементов наиболее благоприятное влияние на снижение содержания вольфрама оказывает ванадий, затем ниобий и титан. При дальнейшем повышении степени легирования влияние титана выражено больше и по достижении его содержания в присадочном материале свыше 2 % он играет преобладающую роль в формировании матрицы композиционного сплава с наилучшими служебными характеристиками (рис. 2).

Испытание на абразивный износ композиционных сплавов, наплавленных с использованием присадочного материала, содержащего титан, показало повышение износостойкости композиции по сравнению со сплавами с раскисленной матрицей и сплавами, полученными путем армирования сварочной ванны зернами карбидов вольфрама, в 1,2...1,3 раза.

При наплавке опытной партии замков бурильных труб ЗШ-146А ленточным релитом с титаном

установлено, что их ресурс в 2,1...2,5 раза превышает ресурс контрольных серийных ненаплавленных замков. Новый материал для плазменной наплавки композиционных сплавов внедрен на Дрогобычском долотном заводе, где организован промышленный участок по выпуску замков с армированной наружной поверхностью.

### Выводы

1. Установлены эффективность введения в состав присадочного материала ниобия, ванадия и титана, а также их влияние на условия формирования структурных составляющих и их соотношение в матрице композиционного сплава.

2. Определено оптимальное количество титана 1,5...3,0 %, вводимого в состав присадочного материала, по отношению к компонентам, которые образуют после плавления и кристаллизации матрицу композиционного сплава.

1. Овчинникова Т. С. Исследование структуры армированного слоя шарошек буровых долот и влияние ее на износостойкость: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 1968. — 29 с.
2. Жудра А. П. Исследование и разработка материалов для наплавки композиционных сплавов, стойких в условиях интенсивного абразивного износа: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Киев, 1980. — 16 с.
3. Белый А. И., Дзыкович В. И. Раскисление металла при плазменной наплавке композиционных сплавов // Всесоюз. семинар «Теоретические и технологические основы наплавки в металлургической и горнорудной промышленности»: Тез. докл. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1988. — 52 с.
4. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. — М.: Металлургия, 1968. — 400 с.
5. Гудремон Э. Специальные стали. — М.: Металлургия, 1959. — 450 с.

Data are given about the effect of alloying elements (niobium, vanadium, titanium) on the quantitative ratio of hases, forming matrix of a composite alloy in plasma surfacing.

Поступила в редакцию 28.03.2002,  
в окончательном варианте 14.05.2002