



УДК 621.791.92.042

РАЗРАБОТКА ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ФЕРРИТНОГО КЛАССА ДЛЯ НАПЛАВКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Я. П. ЧЕРНЯК

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины.
03680, г. Киев, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

В настоящее время остро стоит вопрос восстановления деталей с содержанием углерода более 0,5 %. Традиционные методы борьбы с трещинами, такие как предварительный и сопутствующий подогрев при наплавке деталей из высокоуглеродистых сталей, не всегда осуществимы в связи с большой массой деталей или экономической нецелесообразностью. Результаты исследований, представленные в статье, позволили разработать новый наплавочный материал ферритного класса, позволяющий без предварительного и сопутствующего подогрева получать бездефектный наплавленный слой. Основным элементом системы легирования Fe–Ti–Mn–Si–Mo является титан, что позволяло, учитывая его сродство к углероду и их стехиометрическое соотношение, получать мягкую ферритную матрицу в наплавленном металле при содержании углерода в основном металле до 1 %. Положительный результат опытно-промышленной проверки разработанной порошковой проволоки при наплавке трамвайных рельсов, которые изготавливаются из стали М76 с содержанием углерода до 0,8 %, позволил рекомендовать данную проволоку для применения в промышленности. Разработаны Технические условия Украины ТУУ 28.7.05416923.066–2002 на проволоку ПП-Нп-ОбТЗГМ (ПП-АН203) для ее производства в промышленных масштабах. Порошковая проволока ферритного класса ПП-Нп-ТЗСГМ обеспечивает отсутствие в наплавленном металле и ЗТВ трещин всех видов, в том числе и отколов, в широком диапазоне режимов наплавки. Она рекомендована для применения при наплавке деталей из высокоуглеродистых сталей без предварительного и сопутствующего подогрева. Библиогр. 4, табл. 2, рис. 3.

Ключевые слова: дуговая наплавка, наплавочные материалы, высокоуглеродистые стали, порошковая проволока, ферритный наплавленный металл, предварительный и сопутствующий подогрев

Из высокоуглеродистых сталей, содержащих более 0,5 % углерода, изготавливают многие детали металлургического оборудования, железнодорожного транспорта, строительной техники и т. д. При наплавке этих деталей необходимо принимать меры для предотвращения образования холодных трещин в наплавленном металле и ЗТВ. Самым распространенным методом предотвращения трещин остается предварительный и сопутствующий подогрев и последующий отпуск, позволяющие значительно понизить остаточные наплавочные напряжения вследствие образования мартенситной структуры в наплавленном металле и ЗТВ. Если подогрев невозможен, то для наплавки используют аустенитные электродные материалы, что не всегда оправдано как с технической, так и экономической точек зрения [1].

Целью настоящей работы являлась разработка расходного материала для наплавки деталей из высокоуглеродистых сталей без или с минимальным подогревом, обеспечивающего получение бездефектного наплавленного металла, соответствующего по структуре легированной стали ферритного класса [2]. Для исключения образования мартенсита углерод, переходящий в наплавленный металл из основного металла, связывают в

прочные карбиды в таком соотношении, что в матрице он остается в минимальном количестве. В этом случае матрица сохраняет относительно мягкую и пластичную ферритную структуру. При этом наплавленный и основной металл имеют близкие коэффициенты термического расширения, что способствует снижению остаточных наплавочных напряжений.

Для проведения исследований выбрана система легирования наплавленного металла Fe–Ti–Mn–Si–Mo. Содержание титана в наплавленном металле выбирали из следующих соображений. Известно, что титан энергично реагирует с углеродом и образует с ним карбид TiC со стехиометрическим соотношением 4:1. Наплавку планировали проводить на сталь, содержащую 0,7...0,9 % углерода. При проплавлении основного металла равном примерно 30...40 % содержание углерода в первом наплавленном слое может достигать 0,35 %. Чтобы связать такое количество углерода, необходимо около 2 % титана, что должно обеспечить образование мягкой ферритной матрицы и, как следствие, отсутствие трещин в наплавленном металле.

Известно также, что титан сильно окисляется в процессе наплавки и для определения его необходимого содержания в наплавленном слое и соответственно в шихте порошковой проволоки



Таблица 1. Содержание титана в металле первого наплавленного слоя в зависимости от его количества в шихте самозащитной порошковой проволоки

Расчетное содержание титана в шихте порошковой проволоки, мас. %	Фактическое содержание титана в наплавленном металле, мас. %
2,17	0,68
3,26	1,15
3,95	1,31
4,05	1,51
4,87	2,05
5,62	2,50
7,04	2,73

провели опыты по наплавке образцов из высокоуглеродистой стали, содержащей 0,8 % углерода, самозащитной проволокой исследуемой системы легирования диаметром 2,6 мм. Наплавку вели открытой дугой на режиме: $I = 430...450$ А; $U = 24...26$ В; $v_n = 36,8$ м/ч. Применяли газослаковую систему основного типа ($CaF_2 + CaCO_3 + [SiO_2 + K_2O + Al_2O_3]$). Титан вводили в виде ферротитана ФТи-70 с 69 % Ti.

По данным табл. 1, в которой представлены результаты исследований, был рассчитан средний коэффициент перехода титана в металл первого наплавленного слоя, который составил около 40 %. Таким образом, чтобы обеспечить требуемое количество титана в первом наплавленном слое равное 2 % его содержание в шихте порошковой проволоки должно быть около 5 %.

В соответствии с данными по переходу титана в наплавленный металл для проведения исследований изготовили опытную порошковую проволоку ПП-Нп-ТЗСГМ и провели наплавку на сталь, содержащую 0,8 % углерода, на режиме, приведенном выше. Результаты исследования химического состава и твердости наплавленного металла первого и третьего валиков приведены в табл. 2.

Таблица 2. Химический состав и твердость металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-Нп-ТЗСГМ

Номер валика	Массовая доля элементов, %							Твердость HV
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Ti	Mo	
1	0,4	0,9	0,9	—	—	2,6	0,4	185...195
3	0,2	1,0	1,2	—	—	3,3	0,6	170...180

Металлографический анализ показал, что структура металла первого – третьего валика ферритная (рис. 1). Характерной особенностью ее является наличие дезориентированных мелких кристаллитов, по границам и внутри которых выпали дисперсные включения, представляющие в основном карбонитриды различного состава. Низкая твердость (HV 170...195) также свидетельствует об отсутствии мартенсита в матрице наплавленного металла первого – третьего валиков.

С помощью быстродействующего dilatометра конструкции ИЭС им. Е. О. Патона [3, 4] изучали структурные и фазовые превращения в наплавленном металле в процессе нагрева и охлаждения. В быстродействующем dilatометре скорости нагрева и охлаждения образцов имитируют термические циклы наплавки (сварки). Образцы изготавливали из металла первого слоя, наплавленного проволокой ПП-Нп-ТЗСГМ металла на сталь, которая содержит 0,8 % углерода (табл. 2).

Как видно из рис. 2, а, образцы в процессе охлаждения со скоростью 36 °С/с (в соответствии с наиболее жестким наплавочным термическим циклом) сохраняют исходную ферритную структуру. Об этом свидетельствует монотонность и обратимость кривых.

Полученные кривые сравнивали с dilatограммой трансформаторного железа, содержащего 4...5 % кремния и имеющего устойчивую структуру феррита (ОЦК-решетку) в интервале от комнатной температуры до температуры плавления (рис. 2, б). Из сравнения dilatограмм наплавленного металла ТЗСГМ и трансформаторного же-

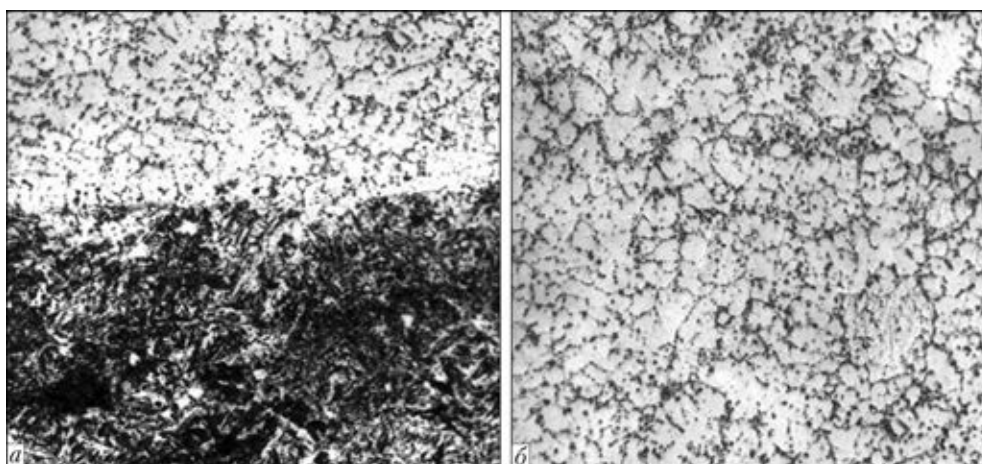


Рис. 1. Микроструктура (×500) металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-Нп-ТЗСГМ: а — зона сплавления; б — центр первого валика

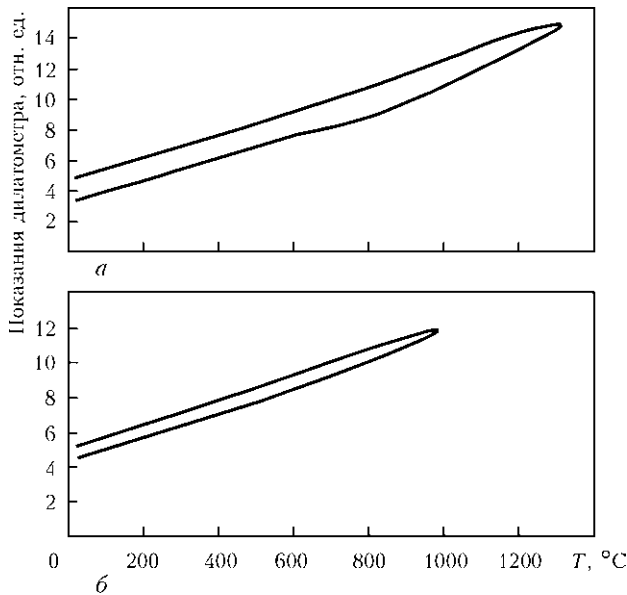


Рис. 2. Дилатометрические кривые нагрева и охлаждения наплавленного металла ТЗСГМ (а) и трансформаторного железа (б)

леза видно, что они подобны и имеют одинаковый наклон, т. е. их структуры и коэффициенты термического расширения близки.

Таким образом, выполненные исследования показывают, что даже при содержании в наплавленном металле до 0,5 % углерода за счет легирования титаном этот металл кристаллизуется как ферритный и не претерпевает никаких превращений в твердом состоянии.

Исследование механических свойств металла, наплавленного проволокой ПП-НпТЗСГМ, свидетельствует о достаточно высоком их уровне: $\sigma_T = 393$ МПа; $\sigma_B = 638$ МПа; $\delta = 18,5$ %; $\psi = 24,5$ %.

Проведена опытно-промышленная проверка разработанной порошковой проволоки, содержащей до 0,8 % углерода, при наплавке трамвайных рельсов, изготовленных из стали М76.

Измерение твердости металла ЗТВ показало, что у границы сплавления под первым наплавленным валиком максимальная твердость составляет около HV 400 (рис. 3). Микроструктура в этой зоне — отпущенный мартенсит + бейнит (см. рис. 1, а). Примечательно, что карбидная гряда на границе сплавления практически полностью отсутствует. Остальные участки ЗТВ имеют ферритно-перлитную структуру с твердостью HV

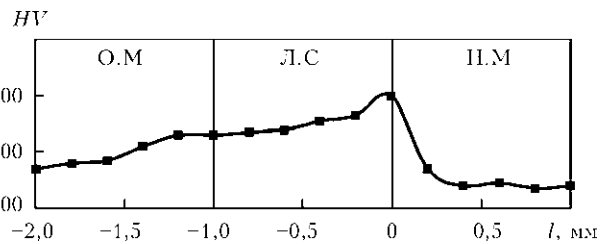


Рис. 3. Твердость зоны сплавления под первым наплавленным валиком

280...350 и не представляют опасности с точки зрения образования холодных трещин.

Результаты опытно-промышленной проверки показали, что разработанная порошковая проволока ПП-Нп-ТЗСГМ обеспечивает в широком диапазоне режимов наплавки отсутствие в наплавленном металле и металле ЗТВ трещин всех видов, в том числе и отколов. Еще одним достоинством порошковой проволоки ПП-Нп-ТЗСГМ является отсутствие дефицитных и дорогостоящих легирующих элементов, поэтому цена ее невысока.

Выводы

1. Разработана порошковая проволока ПП-Нп-ТЗСГМ, обеспечивающая при наплавке деталей из высокоуглеродистых сталей без подогрева получение пластичной ферритной структуры наплавленного металла и, как следствие, отсутствие холодных трещин.
2. Проведенные исследования и опытно-промышленная проверка позволяют рекомендовать порошковую проволоку ПП-Нп-ТЗСГМ для наплавки деталей из высокоуглеродистых сталей без предварительного и сопутствующего подогревов.

1. Фрумин И. И. Автоматическая электродуговая наплавка. — Харьков: Metallurgizdat, 1961. — 421 с.
2. Черняк Я. П., Бурский Г. В., Каленский В. К. Сопrotивляемость металла ЗТВ стали М76 образованию холодных трещин после наплавки проволоками ферритного класса // Автомат. сварка. — 2002. — № 11. — С. 53–54.
3. Васильев В. Г., Малевский Ю. Б. Дилатометр для исследования фазовых превращений при сварочном термическом цикле // Физические методы исследования металлов. — Киев: Наук. думка, 1981. — С. 144–148.
4. Васильев В. Г., Малевский Ю. В. Дилатометр для измерения удлинения в поперечном сечении образца // Машины и приспособления для испытания металлов и пластмасс. — М.: Mashgiz, 1965. — С. 122–128.

Поступила в редакцию 11.07.2012