

ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЯ НА СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТОГО НИЗКОЛЕГИРОВАННОГО НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

А. П. ЖУДРА, С. Ю. КРИВЧИКОВ, кандидаты техн. наук, В. В. ПЕТРОВ, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния небольших добавок кремния на физико-механические свойства низколегированного углеродистого наплавленного металла при электродуговой наплавке самозащитной порошковой проволокой. Показано, что увеличение содержания кремния до 2,3 % приводит к уменьшению доли мартенситной фазы в наплавленном металле и тем самым повышает его стойкость против образования микротрещин.

Ключевые слова: дуговая наплавка, порошковая проволока, наплавленный металл, трещиностойкость, легирование кремнием, микроструктура, микротвердость

Основными способами повышения трещиностойкости высокоуглеродистых низколегированных сплавов при сварке и наплавке является применение дорогостоящих порошковых проволок, легированных никелем (до 80 %), использование предварительного подогрева и некоторых других приемов металлургического и технологического характера. Роль сравнительно небольших добавок (до 2...3 %) таких элементов, как кремний, марганец, алюминий и титан, чаще оценивают их участием в процессах раскисления сварочной ванны и нитридообразования, а их влияние на некоторые физико-механические свойства наплавленного металла, например, трещиностойкость, изучено недостаточно.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование влияния кремния на микроструктуру, трещиностойкость и твердость углеродистого сплава при наплавке самозащитной порошковой проволокой без использования предварительного подогрева. Для проведения исследований изготовили порошковые проволоки диаметром 1,8 мм, содержание кремния в которых изменяли дискретно путем изменения количества ферросилиция в сердечнике. Постоянство химического состава и коэффициента заполнения порошковых проволок при увеличении содержания ферросилиция обеспечивали соответствующим снижением количества железного порошка. Наплавку одиночных валиков производили на следующем режиме: $I_{св} = 170...180$ А, $U_{д} = 19...21$ В, $v_{н} = 14$ м/ч, ток постоянный обратной полярности. Химический состав исследованных наплавленных образцов (в третьем слое), мас. %: 2,2...2,4 С; 0,7...0,8 Мн; 0,3...0,4 Аl; 0,25...0,30 Тi и 0,58; 1,16; 1,86 и 2,33 Si. Наличие макротрещин в наплавленном металле оценивали визуально или с по-

мощью магнитного дефектоскопа. Изменения микроструктуры, количество и морфологию микротрещин изучали с помощью металлографического анализа. Для получения сравнимых и достоверных результатов микрошлифы для металлографических исследований изготавливали из образцов наплавленного металла, вырезанных на одном и том же расстоянии от начала наплавки каждого валика, когда технологический процесс наплавки считался установившимся.

Микроструктура наплавленного металла включает продукты распада аустенита (ферритно-перлитная смесь), цементитно-ледебуритную эвтектику «сотового» строения и аналогична микроструктуре низколегированного литейного доэвтектического чугуна*. Как показали эксперименты,



Рис. 1. Микроструктура наплавленного металла (X600) при содержании кремния 0,58 %

* Бунин К. П., Малиночка Я. Н., Таран Ю. Н. Основы металлографии чугуна. — М.: Металлургия, 1969. — 416 с.

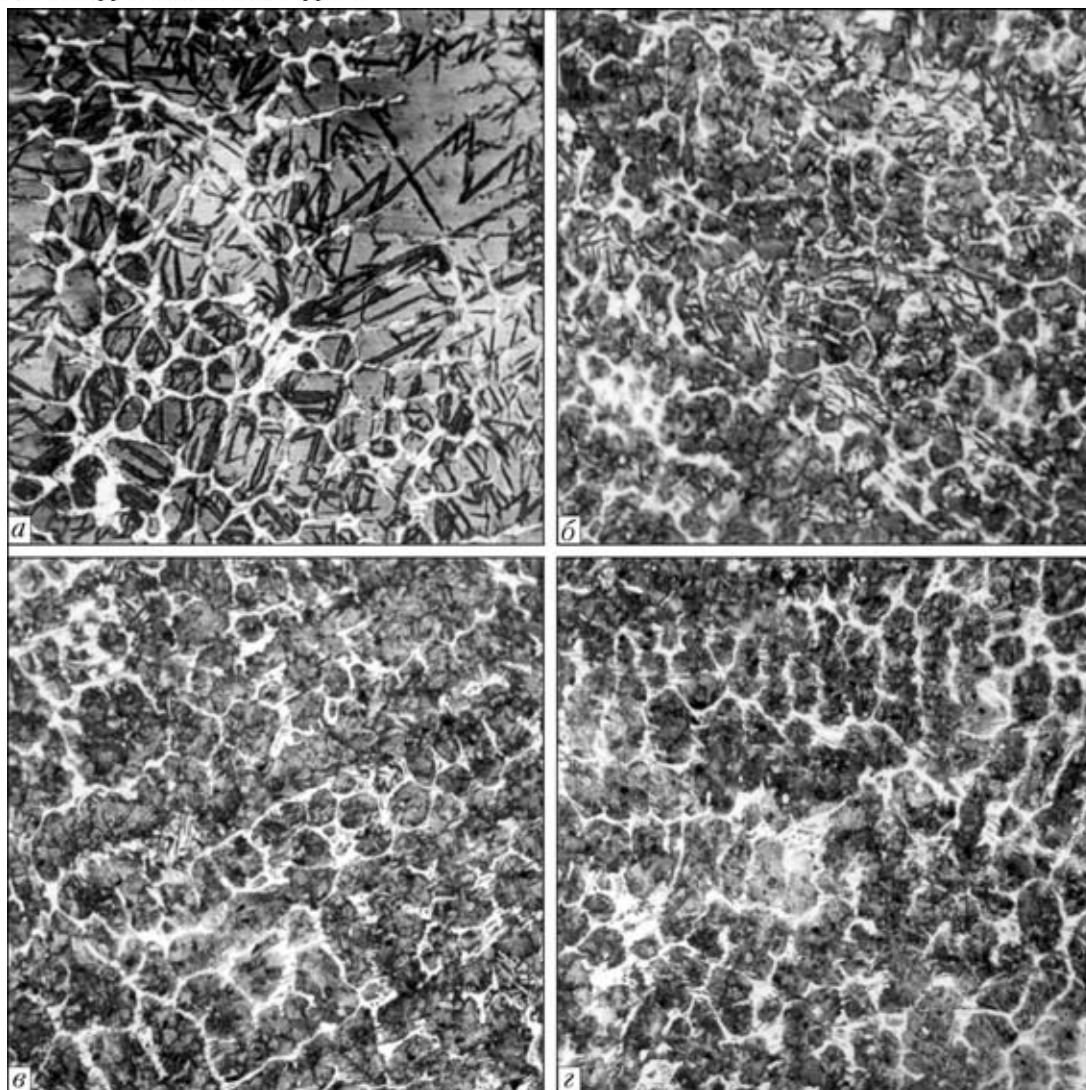


Рис. 2. Микроструктура наплавленного металла ($\times 320$) при содержании кремния 0,58 (а); 1,16 (б); 1,86 (в); 2,33 (г) %

изменение содержания кремния в исследованных пределах не оказывает влияния на образование и количество макротрещин в наплавленном металле. Они наблюдаются во всех наплавках, причем образуются в наплавленных валиках при их охлаждении в интервале температур $450 \dots 250$ °C и сопровождаются значительным звуковым эффектом, что позволяет классифицировать их как «холодные».

Металлографическими исследованиями установлено, что кремний оказывает большое влияние на количество и протяженность микротрещин в наплавленном металле. Максимальное количество микротрещин наблюдается в наплавленном образце, содержащем 0,58 % Si. При этом они присутствуют как в наплавленном металле (рис. 1), так и в зоне сплавления, протяженность микротрещин также максимальна. С увеличением содержания кремния количество и протяженность микротрещин уменьшается и максимальную трещиностойкость имеет наплавленный металл, легированный кремнием в количестве 2,33 %.

Влияние сравнительно небольших концентраций кремния на образование микротрещин возможно связано с изменением количества, морфологии мартенсита и его твердости. Установлено, что наибольшее количество крупноигльчатого мартенсита наблюдается в наплавках, содержащих 0,58 % Si (рис. 2, а). С увеличением концентрации кремния количество и протяженность игл мартенсита уменьшается (рис. 2, б, в). В наплавленном металле, содержащем 2,33 % Si, мартенситная фаза практически отсутствует (рис. 2, г).

Помимо структурных превращений легирование кремнием сопровождается изменением микротвердости продуктов распада аустенита H_{μ}^a (зерен твердого раствора) и карбидной эвтектики H_{μ}^k (рис. 3).

Изменение микротвердости структурных составляющих наплавленного металла обусловлено тем, что с увеличением содержания кремния снижается доля перлитного цементита, а в наплавках, содержащих 1,86 и 2,33 % Si, в зернах перлита обнаруживаются мелкие (диаметром не более

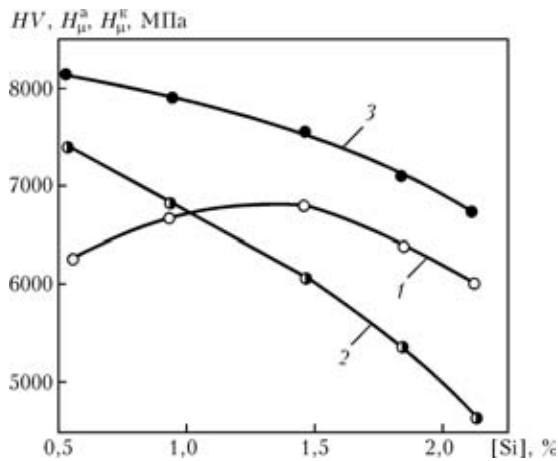


Рис. 3. Влияние кремния на твердость наплавленного металла HV (1), микротвердость зерен твердого раствора H_{μ}^a (2) и ледобуритно-цементитной эвтектики H_{μ}^k (3)

1 мкм) включения структурно свободного углерода. В результате значение H_{μ}^a уменьшается. Причину изменения H_{μ}^k с помощью металлографичес-

кого анализа установить не удалось, но возможно она вызвана изменением стехиометрического состава карбидных составляющих наплавленного металла при изменении содержания кремния.

Наличие максимума на кривой твердости HV обусловлено изменением количества и твердости мартенситной фазы в наплавленном металле с разной концентрацией кремния. В наплавке с минимальным (0,58 %) количеством кремния микротвердость мартенсита относительно невелика и составляет 5000...5200 МПа. С увеличением концентрации кремния (наплавка с 1,16 и 1,86 % Si) количество мартенсита снижается, но его микротвердость возрастает до 7000...7400 МПа. При этом твердость наплавленного металла достигает максимального значения. Дальнейшее увеличение содержания кремния приводит к снижению как количества, так и микротвердости (до 6200...6400 МПа) мартенсита, что приводит к уменьшению значения твердости наплавленного металла.

Given are the results of experimental studies of the influence small additives of silicon on the physico-mechanical properties of low-alloyed white cast iron in electric-arc surfacing with self-shielded flux-cored wire. It is shown that increase of silicon content up to 2.3% reduces the share of the martensite phase in the deposited metal and increases its microcracking resistance.

Поступила в редакцию 05.07.2004

ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СВАРКОЙ ПОВРЕЖДЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЦЕЛЬНОЛИТЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Разработана технология восстановления и техника выполнения ремонтной сварки поврежденных элементов крупногабаритных цельнолитых конструкций, изготавливаемых из среднеуглеродистых сталей (до 0,4 % C). В основе технологии заложено применение стандартных низколегированных сварочных материалов отечественного производства, обеспечивающих прочность металла шва 450...550 МПа. Технология предусматривает контроль характера и размеров повреждений конструкции (трещины, выработки и т.д.); удаление дефектов и разделку кромок под сварку; непосредственно сварку в соответствии с уточненными рекомендациями применительно к конкретной конструкции; проведение мероприятий, направленных на исключение образования закалочных структур и снижение уровня остаточных сварочных напряжений в сварных соединениях; неразрушающий контроль качества соединений.

В большинстве случаев проведение ремонта не требует полного демонтажа и последующего монтажа восстанавливаемого объекта. Опыт показывает, что стоимость ремонтных работ составляет 10...30 % себестоимости изделия, сроки работ — от 10 до 40 суток.

Разработанные технические решения по ремонту крупногабаритных цельнолитых конструкций, изготавливаемых из сталей 35Л и 25Л, использованы при восстановлении станины и поперечины прессы усилием 10000 тс (срок работы оборудования 25 лет), подвижной щеки камнедробилки (срок эксплуатации 10 лет), станин конусных дробилок ККД, КСД и КМД (срок от 10 до 20 лет). После ремонта восстановленное оборудование работает в проектных режимах. Восстановительные работы были проведены на металлургических и горнодобывающих предприятиях Украины и Российской Федерации.

Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, отд. № 39
Тел./факс: (38044) 227 43 66