



## ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК АЛЮМИНИЯ В ПОРОШКОВУЮ ПРОВОЛОКУ НА СВОЙСТВА ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОГО НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

С. Ю. КРИВЧИКОВ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследована трещиностойкость и пористость низколегированного углеродистого сплава при наплавке самозащитной порошковой проволокой. Установлено, что легирование наплавленного металла более 0,7 мас. % алюминия приводит к увеличению в нем количества мартенситной фазы и снижению его стойкости против образования трещин. Показано, что максимальная твердость наплавленного металла при незначительном снижении его трещиностойкости может быть достигнута при содержании 0,5...0,7 мас. % алюминия.

*Ключевые слова:* наплавка, самозащитная порошковая проволока, наплавленный металл, алюминий, трещиностойкость, микроструктура, твердость, микротвердость

В ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины разработана самозащитная порошковая проволока ПП-АН160, предназначенная для широкослойной наплавки чугунных коленчатых валов двигателей автомобилей\*. Ввиду технологических особенностей широкослойной наплавки шеек коленчатых валов и малого диаметра порошковой проволоки (1,8 мм) ее сердечник не может содержать более 1,5 % газо- и шлакообразующих компонентов. Однако этого количества оказывается недостаточно для надежной защиты капель электродного металла и жидкой сварочной ванны от кислорода и азота воздуха, что в свою очередь приводит к образованию пористости в наплавленном металле. Основным металлургическим методом предупреждения пористости, вызванной азотом и кислородом воздуха, является введение в состав наплавленного металла необходимого количества алюминия и (или) титана для связывания растворенных в сварочной ванне газов в нерастворимые соединения. Недостаточное или избыточное содержание этих элементов может либо не полностью подавлять порообразование, либо частично принимать участие в легировании и изменении физико-механических свойств наплавленного металла.

Цель настоящей работы заключается в исследовании влияния алюминия на пористость и свойства износостойкого сплава, наплавленного самозащитной порошковой проволокой ПП-АН160.

\* Кривчиков С. Ю. Повышение триботехнических характеристик наплавленных чугунных коленчатых валов автомобилей // Автомат. сварка. — 2008. — № 12. — С. 40–42.

Для исследований изготовили опытные самозащитные порошковые проволоки диаметром 1,8 мм с различной массовой долей алюминия в сердечнике. Многослойную наплавку производили на режиме:  $I_n = 170...180$  А,  $U_d = 19...21$  В,  $v_n = 14$  м/ч, ток постоянный, полярность обратная. Наплавку каждого последующего валика выполняли после полного остывания предыдущего. Химический состав наплавленного металла (в третьем слое) исследуемых образцов следующий, мас. %: 2,2...2,4 С; 0,7...0,8 Мn; 1,6...1,8 Si; 0,2...0,3 Cr; 0,2...0,3 Ti; 0,035, 0,54, 0,82, 1,50 и 2,20 Al.

Как показали эксперименты, независимо от содержания алюминия (в исследуемых пределах) валики имели микротрещины, образовавшиеся в процессе охлаждения наплавленного металла в температурном интервале 450...250 °С со значительным звуковым эффектом, что позволяет классифицировать их как «холодные» трещины.

В ходе металлографических исследований установлено, что алюминий оказывает существенное влияние на количество и морфологию микротрещин в наплавленном металле, а также на его пористость. В наплавленном образце, содержащем 0,035 мас. % Al (по данным химического анализа в случае отсутствия алюминия в сердечнике порошковой проволоки), обнаруживаются отдельные микротрещины и большое количество пор диаметром до 2 мм. С увеличением массовой доли алюминия до 0,54 % количество микротрещин незначительно возрастает, а пор — уменьшается. Дальнейшее повышение содержания алюминия приводит к увеличению протяженности и степени раскрытия микротрещин, а в наплавленном металле, содержащем 2,20 мас. % Al, появляются микротрещины, поражающие как наплавленный металл, так и металл зоны сплавления (рис. 1). В образцах наплавленного металла, содержащего более 0,54 мас. % Al, поры отсутствуют.

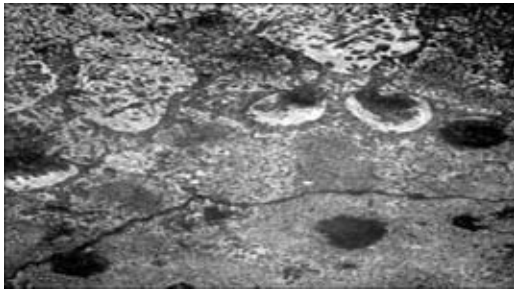


Рис. 1. Микротрещина в зоне сплавления наплавленного металла, содержащего 2,20 мас. % Al,  $\times 160$

Структура наплавленного металла, не содержащего алюминий, состоит из продуктов распада аустенита (ферритно-перлитная смесь) и карбидно-цементитной фазы. В плоскости шлифа карбидно-цементитная фаза имеет вид армирующей сетки.

В результате металлографических исследований установлено, что легирование алюминием в исследуемых пределах не оказывает существенного влияния на дисперсность дендритной структуры твердого раствора, но изменяет пространственное строение карбидно-цементитной фазы. При 0,035 мас. % Al она образуется не во всех участках межсоседей пространств дендритов, поэтому имеет вид (в плоскости шлифа) разорванной сетки. С увеличением содержания алюминия ее разветвленность возрастает.

Изменение претерпевает и фазовый состав наплавленного металла. Увеличение содержания алюминия до 0,50 мас. % приводит к образованию в структуре наплавленного металла примерно 3 % мартенсита. С увеличением массовой доли алюминия до 2,20 % содержание мартенсита в структуре наплавленного металла возрастает до 18 %. Возможно, образование мартенсита является одной из причин снижения уровня трещиностойкости наплавленного металла при массовой доле алюминия более 0,50 %.

Помимо структурных превращений, легирование алюминием сопровождается изменением твердости наплавленного металла и его основных фазовых составляющих (продуктов распада аустенита и карбидно-цементитной сетки). Как видно из рис. 2, кривые имеют максимумы при массовой

$HV, HV_a, HV_k, \text{ МПа}$

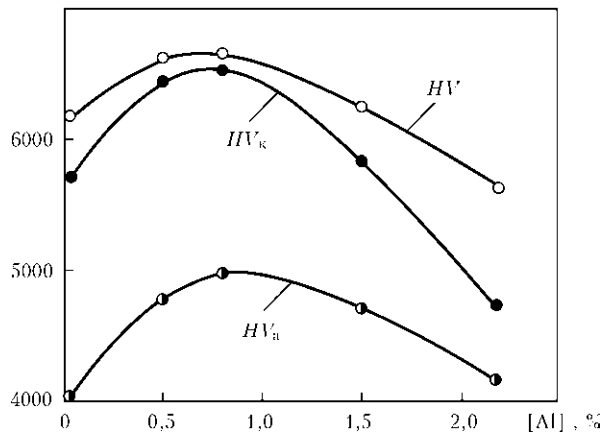


Рис. 2. Влияние алюминия на твердость наплавленного металла  $HV$ , микротвердость зерен твердого раствора  $HV_a$  и карбидно-цементитной фазы  $HV_k$

доле алюминия в наплавленном металле 0,7...0,9 %. Повышение твердости наплавленного металла  $HV$  и микротвердости зерен твердого раствора  $HV_a$  при увеличении содержания алюминия до отмеченного уровня обусловлено возрастающей дисперсностью карбидно-цементитной фазы, а также, возможно, участием алюминия в упрочнении феррита твердого раствора (продуктов распада аустенита). При дальнейшем увеличении массовой доли алюминия проявляется его графитизирующее действие. При этом уменьшается содержание цементита, что приводит к уменьшению твердости наплавленного металла  $HV$  и микротвердости зерен твердого раствора  $HV_a$ . Несмотря на то что легирование алюминием сопровождается образованием мартенсита, твердость которого относительно невелика (4600...4900 МПа), он не может служить препятствием для дальнейшего снижения  $HV$ . Причина снижения микротвердости карбидно-цементитной фазы  $HV_k$ , вероятно, связана с изменением стехиометрического состава карбидных составляющих наплавленного металла, вызванного легированием алюминием.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что максимальная твердость, отсутствие пористости и удовлетворительная стойкость против образования микротрещин характерны для наплавленного металла, содержащего около 0,5...0,7 мас. % Al.

The paper gives results of experimental studies on the effect of aluminium on crack resistance and porosity of a low carbon alloy in cladding using self-shielding flux-cored wire. It is established that alloying of the deposited metal with more than 0.7 % aluminium leads to increase in the content of the martensite phase and decrease in its crack resistance. It is shown that the maximal hardness of the deposited metal at an insignificant decrease in its crack resistance can be achieved at the 0.5...0.7 % aluminium content.

Поступила в редакцию 27.01.2012