

# НАПЛАВКА АЗОТИСТЫМИ СПЛАВАМИ

В. Н. КАЛЬЯНОВ, д-р техн. наук (УИПА, Харьков, Украина)

Рассмотрены примеры эффективного легирования азотом наплавленного металла. Экспериментально показано, что усвоение азота наплавленным металлом при дуговой сварке (наплавке) на токе при прямой полярности выше, чем при обратной.

**Ключевые слова:** наплавка, азот, легирование, ресурсосберегающие материалы

Азотсодержащие стали как с равновесным, так и сверхравновесным содержанием азота при соответствующем легировании имеют высокие показатели прочности, износостойкости, коррозионной стойкости [1–3].

Результаты исследований свойств сплавов 50X25H4AG9M4Б, 10X32H8AM2, 140X15H2AT и др. [3–5] подтвердили целесообразность дополнительного легирования износостойкого слоя азотом (0,2...0,4 %).

При ванношлаковой наплавке с использованием флюса АНФ-6 содержание серы в наплавленном слое сплава 50X25H4AG9M4Б уменьшилось от 0,018 до 0,008 %, содержание остальных элементов осталось аналогичным стержневому электроду. Структура наплавленного металла была мелкозернистой, с равномерно распределенными дисперсными карбидами и нитридами. Временное сопротивление повысилось приблизительно на 10 %, более чем в 2 раза увеличилась ударная вязкость. Благоприятная для увеличения износостойкости направленность кристаллитов, высокие показатели жаропрочности способствуют повышению долговечности деталей, наплавленных и отлитых способом ЭШЛ.

Временное сопротивление, длительная прочность, твердость и ударная вязкость наплавленного металла 45X14H14B2M существенно ниже аналогичных показателей сплава 50X25H4AG9M4Б, содержащего 0,39...0,42 мас. % N.

Дуговая наплавка проволоками сплошного сечения и порошковыми осуществлялась под флюсом либо в азоте. Применение азота в качестве защитно-легирующей среды обеспечивает снижение доли участия  $\mu$  основного металла до значений, при которых металл первого слоя близок по составу наплавочным проволокам. При увеличении тока от 200 до 350 А при обратной и прямой полярности значения  $\mu$  изменяются соответственно в пределах 0,30...0,51 и 0,14...0,19 (при  $U_d = 24...25$  В;  $v_n = 30$  м/ч, диаметре проволоки  $d_n = 1,6$  мм;  $l_n = 25...26$  мм).

Легирование металла азотом на стадиях образования капли  $[N]_k$  после прохождения через дугу  $[N]_d$  и в однослойном валике  $[N]_n$  зависит от параметров режима, полярности тока, состава проволоки (и основного металла для  $[N]_n$ ). При наплавке на

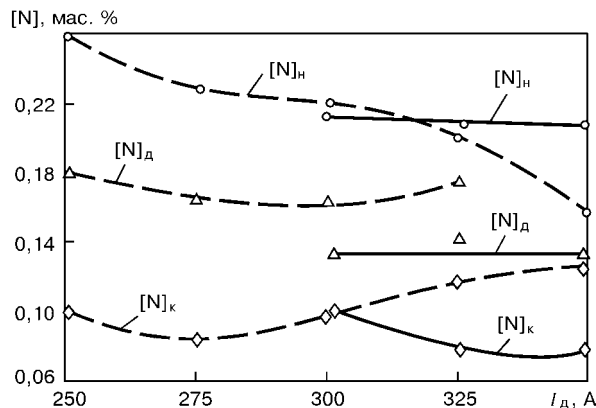


Рис. 1. Зависимость насыщения азотом каплей и металла однослойного валика от полярности тока при наплавке ( $U_d = 28$  В,  $v_n = 30$  м/ч, расход азота около 20 л/мин); проволока Св-04X18H9 диаметром 2 мм: штриховая кривая — при прямой полярности; сплошная — при обратной полярности

© В. Н. Кальянов, 2002

токе при обратной полярности содержания  $[N]_k$ , и особенно  $[N]_d$ , ниже по сравнению с использованием тока при прямой полярности (рис. 1 и 2).

Качественно зависимость  $[N]_n$  от параметров режима примерно одинакова при наплавке аустенитными проволоками как сплошными, так и порошковыми. Плотный аустенитный наплавленный металл получен при содержании  $[N] = 0,20...0,27$  мас. % (рис. 3). С увеличением массовой доли  $[N]_n$  повышается его твердость и прочность (особенно при замене хромоникелевой и хромоникельванадиевой проволоки хромоникельмарган-

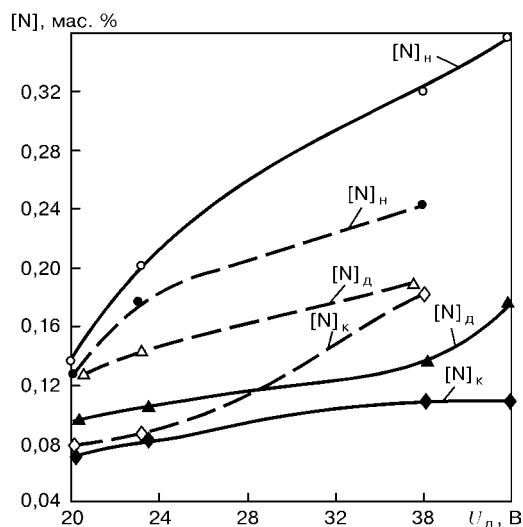


Рис. 2. Влияние напряжения на дуге на легирование азотом каплей и наплавленного металла при  $I_d \approx 250$  А (остальные параметры режима и условия наплавки см. рис. 1)

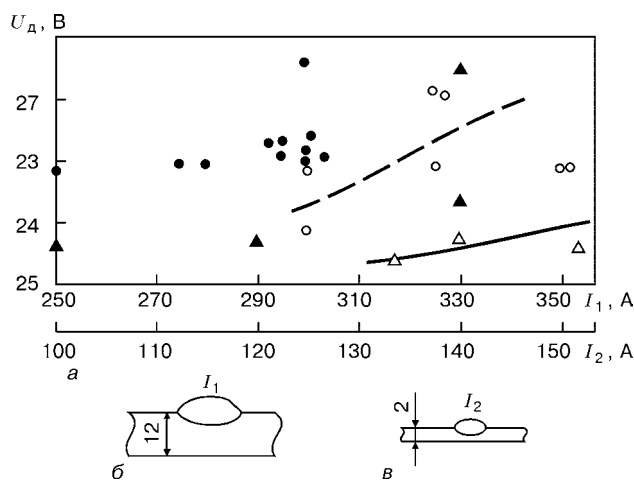


Рис. 3. Область технологически приемлемых значений напряжения на дуге и тока (а) при наплавке аустенитными сталями на постоянном токе при обратной полярности (б, в) и расходе защитного газа азота  $Q_N \approx 20$  л/мин, полученных на рентгеноаппарате при следующем режиме просвечивания:  $U = 110$  кВ;  $I = 10$  мА;  $t = 20$  с: а — наплавка стали 10X17AG14 ( $[N] = 0,39$  %) на токе большого значения  $I_1$  сварочной проволокой  $d_n = 2$  мм,  $v_n = 20...30$  м/ч; б — наплавка стали 20X13H4Г9 сварочной проволокой на токе малого значения  $I_2$  сварочной проволокой  $d_n = 1$  мм,  $v_n = 40...50$  м/ч: ●, ▲ — поры; ○, △ — поры отсутствуют

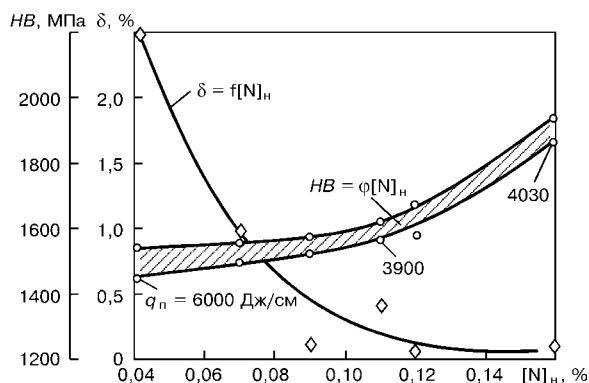


Рис. 4. Влияние массовой доли азота в наплавленном металле на твердость металла валика  $HV$  и содержания  $\delta$ -фазы в нем (содержание элементов в наплавленном металле, мас. %:  $[C]_n = 0,080 \dots 0,009$ ;  $[Cr]_n = 17,00 \dots 17,9$ ;  $[Ni]_n = 10,13 \dots 10,21$ ;  $[Ti]_n = 0,49 \dots 0,56$ ;  $[Mn]_n = 1,04 \dots 1,14$ ;  $[Si]_n = 0,90 \dots 0,98$ ):  $q_n$  — погонная энергия наплавки

цевой Св-08Х20Н9Г7Т), при этом уменьшается массовая доля высокотемпературного феррита (рис. 4). В мартенситно-бейнитных сплавах легирование азотом влияет на механические свойства, снижает остаточные напряжения [6] вследствие понижения температурного интервала мартенситного превращения.

Улучшение формирования наплавленных валиков на токе при прямой полярности (особенно при широкоугольной наплавке) может достигаться с помощью многоэлектродной наплавки, а также сочетанием циклического переключения дуги прямого действия на дугу косвенного действия.

Введение в шихту порошковых проволок активных нитридообразующих составляющих, применение обесчощенных

присадочных проволок увеличивает массовую долю азота, а также массовую долю нитридов как упрочняющей фазы, повышает коэффициенты усвоения легирующих элементов [7] и в целом объем использования высокоазотистых сталей различных структурных классов (в том числе, мартенситно-старееющих) [1, 2] в качестве экономнолегированных наплавочных сплавов.

1. Патон Б. Е., Медовар Б. И., Саенко В. Я. Современные процессы производства высокоазотистых сталей и сплавов и перспективы применения дугошлакового переплава под давлением для их получения // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1992. — № 2. — С. 5–13.
2. Саенко В. Я., Помарин Й. М., Чернец А. В. 5-я Международная конференция по высокоазотистым сталям HNS-98 // Там же. — 1998. — № 3. — С. 76–82.
3. Грибберг Н. А., Мамаев А. В. Наплавочные материалы с карбидным и карбонитридным упрочнением наплавленного металла // Наплавка износостойких и жаростойких сталей и сплавов. Наплавочные материалы. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1983. — С. 3–7.
4. Кальянов В. Н., Песчанский И. П. Механические свойства аустенитных клапанных сталей электрошлакового переплава // Двигателестроение. — 1980. — № 8. — С. 43–44.
5. Красавчиков В. А., Соловьева Л. И. Влияние никеля и азота на структуру, технологичность и механические свойства высокохромистого наплавленного металла // Металловедение и термич. обраб. металлов. — 1984. — № 10. — С. 21–23.
6. Зубков Н. С. Исследование и разработка технологии наплавки в среде азота сталей на Fe-Cr-основе: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Свердловск, 1972. — 21 с.
7. Багров В. А., Кальянов В. Н. Дуговая наплавка сплавами системы Fe-Cr-Mn-Ti-Si с применением дополнительной присадки // Автомат. сварка. — 1999. — № 5. — С. 62–63.

Examples of effective alloying of high-alloyed deposited metal are considered. It is shown experimentally that nitrogen assimilation by deposited metal in arc welding (surfacing) at straight polarity is higher than that at reverse polarity.

Поступила в редакцию 25.03.2002,  
в окончательном варианте 17.06.2002