

ЛЕГИРОВАНИЕ МЕТАЛЛА ШВА АЗОТОМ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ (Обзор)

В.Н. Липодаев

ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Показано благоприятное влияние легирования высоколегированных коррозионностойких сталей и металла швов азотом на стабилизацию структуры, предупреждение зернограничной сегрегации в металле околосшовной зоны и металле шва, обеспечение высокой коррозионной стойкости и технологической прочности сварных соединений. Библиогр. 15, табл. 2, рис. 10.

Ключевые слова: дуговая сварка, коррозионностойкие стали, легирование азотом, структура, коррозионная стойкость, технологическая прочность, покрытые электроды

Коррозионностойкие аустенитные и двухфазные (дулексные) стали, легированные азотом, на сегодняшний день составляют значительную долю среди конструкционных сталей, используемых при эксплуатации в контакте со средами высокой и даже чрезвычайно высокой агрессивности [1–3]. Они используются при изготовлении технологического оборудования для производства сульфатных и фосфорных удобрений, карбамида, в целлюлозно-бумажной, нефтехимической и фармацевтической промышленности. Такие стали проявляют высокую стойкость к воздействию серной, ортофосфорной, уксусной, муравьиной кислот и морской воды.

Легирование отмеченных сталей азотом позволяет [4, 5]:

- уменьшить без ущерба ресурсу, надежности и долговечности материала содержание в нем никеля при сохранении заданной аустенитной или аустенитно-ферритной структуры;

- увеличить без изменения фазового состава содержание в сталях элементов-ферритизаторов (Mo, V, W), положительно влияющих на долговечность, механические и коррозионные характеристики изделий;

- упрочнить α - и γ -твердые растворы при практически неизменных уровнях их пластичности и вязкости и тем самым, повысить допускаемые напряжения в конструкциях;

- обеспечить повышенную стойкость оборудования против межкристаллитной коррозии (рис. 1) и коррозии под напряжением, а при одновременном легировании азотом и молибденом — повышенную стойкость против общей, питтинговой и щелевой коррозии;

- исключить легирование сталей титаном или ниобием и, тем самым, предупредить возможность появления «ножевой» коррозии в сварных соединениях (рис. 2);

© В.Н. Липодаев, 2019

- улучшить характеристики технологической пластичности в результате расширения интервала существования аустенита в высокотемпературной области;

- обеспечить экономический эффект от внедрения новых, более экономнолегированных сталей, обладающих повышенными механическими ха-

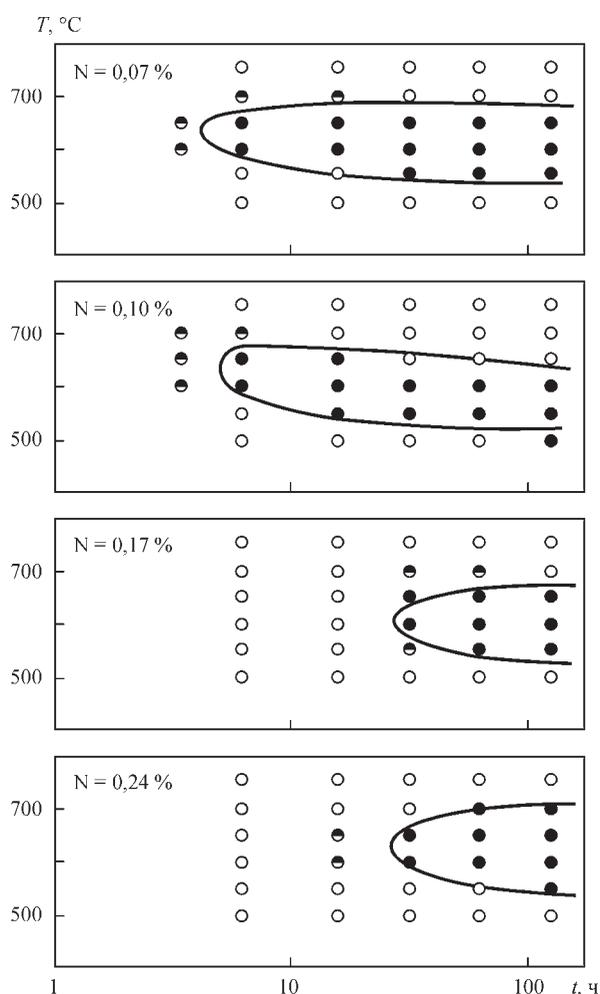


Рис. 1. Температурные области склонности стали 03X19N10AG3 к межкристаллитной коррозии (метод ДУ ГОСТ 6032-84) [6]

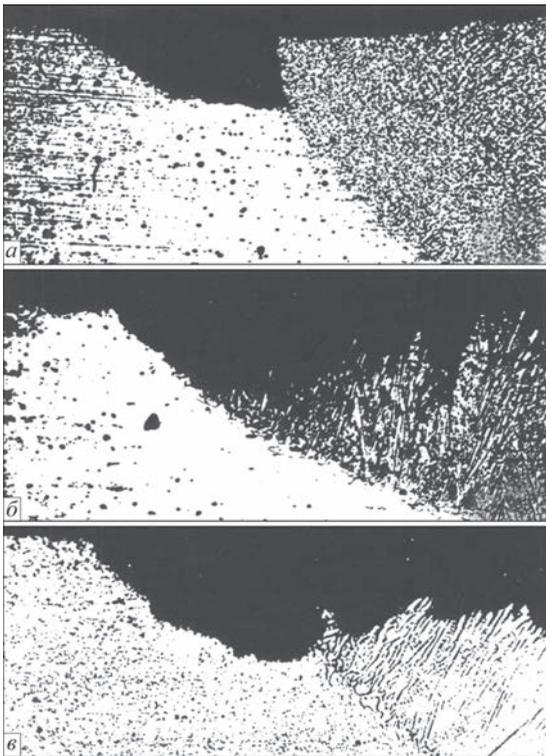


Рис. 2. Ножевая коррозия сварных соединений в производстве нитрофоски: *a* — сварное соединение стали 10Х17Н-13М3Т (электроды ЭА-400/(10у): $\times 100$; *b* — сварное соединение сплава 06ХН28МДТ (электроды ХЛ-1): $\times 200$; *v* — сварное соединение стали 03Х21Н21М4ГБ (электроды 03Л-17У): $\times 100$

рактическими характеристиками, надежностью и долговечностью эксплуатации оборудования из них.

Менее освещено в публикациях влияние азота в высоколегированных сталях на их свариваемость. Тем не менее ранее в работе [7] была установлена целесообразность исключения из состава стали 03Х21Н21М4ГБ и сплавов 03ХН28МДТ и 06ХН28МДТ титана или ниобия, ограничения в них содержания серы и фосфора и дополнительного легирования их азотом в пределах равновесной растворимости (0,15...0,25 %). Показано, что материалы в этом случае не склонны к ножевой коррозии (рис. 3), проявляют повышенную

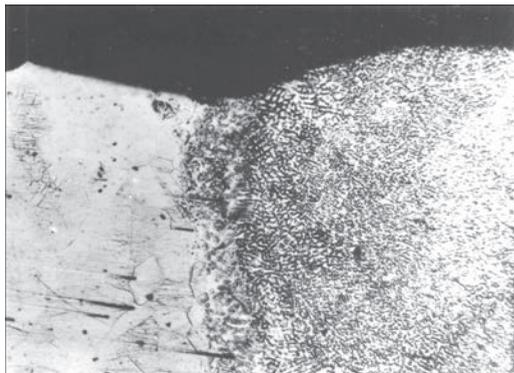


Рис. 3. Микроструктура ($\times 200$) зоны сплавления сварного соединения стали 02Х22Н20М4АГ после коррозионных испытаний на склонность к ножевой коррозии

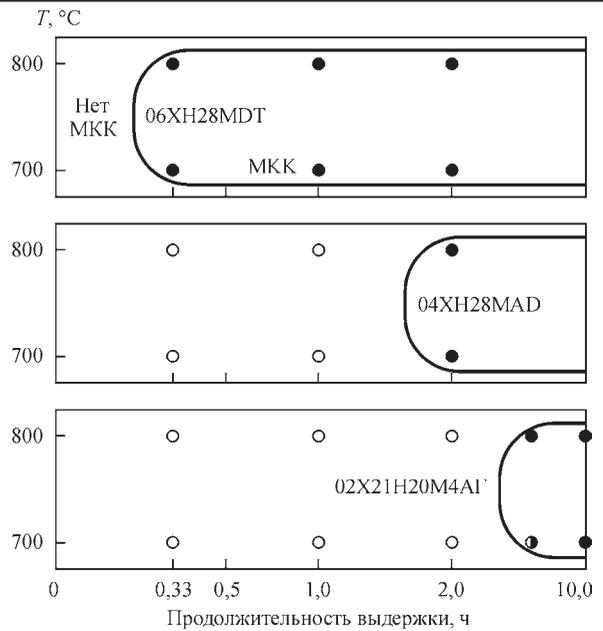


Рис. 4. Стойкость материалов против межкристаллитной коррозии

стойкость против межкристаллитной коррозии (рис. 4), а также обладают стойкостью против образования околошовных трещин (рис. 5, 6). Этот эффект достигается благодаря влиянию азота на подавление развития сеграционных процессов в

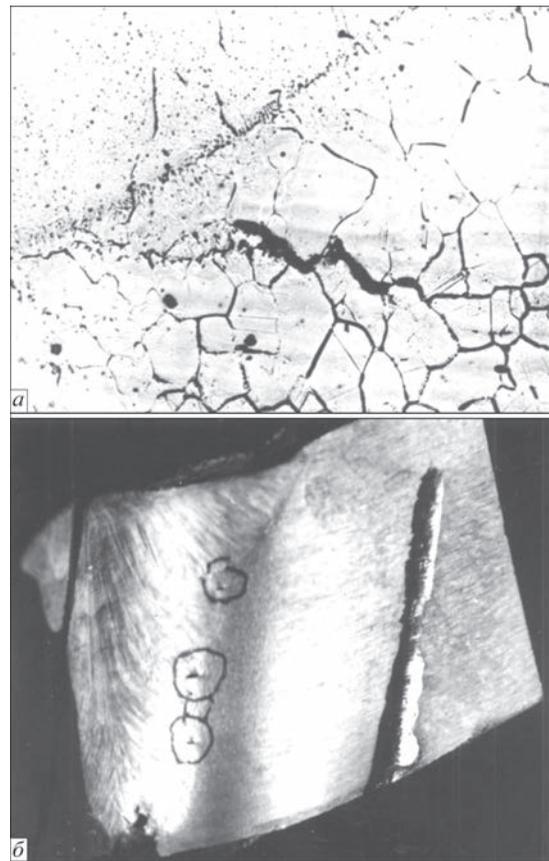


Рис. 5. Горячие трещины в околошовной зоне сварных соединений: *a* — стали 03Х21Н21М4ГБ (электроды марки АНВ-17): $\times 250$; *b* — сплава 06ХН28МДТ (электроды марки АНВ-28): $\times 1,5$



Рис. 6. Микроструктура зоны сплавления: а — стали 02X22H20M4AG4: $\times 100$; б — сплава 04XH28MAD: $\times 400$

высокотемпературном участке металла околшовоной зоны [8].

В настоящее время азотом легируют стали, предназначенные для производства сварного оборудования и аппаратуры, в количествах, как правило, соответствующих его нормальной растворимости при атмосферном давлении, а остальные легирующиеся элементы в количествах, обеспечивающих после закалки сохранение азота в твердом растворе для получения максимальной коррозионной стойкости.

Ниже в табл. 1 приведены характерные составы современных высоколегированных азотсодержащих сталей, получивших широкое применение

Таблица 1. Высоколегированные коррозионностойкие азотсодержащие стали

Марка стали по стандартам		Тип легирования	Среднее содержание азота, мас. %	Области применения	
EN	ASTM/AISI				
Аустенитные					
1.4311	303LN	0318АН10	0,13	Окислительные среды, производство карбамида, морские танкеры, целлюлозно-бумажная промышленность, химическая и нефтехимическая отрасли, производство удобрений	
1.4439	317LN	03X17H13AM5	0,12		
1.4539	N08904	04X25H20AM5	0,25		
2293NL	2209	02X23H9M3AG	0,16		
25104L	2594	02X25H10AM4	0,25		
Дуплексные					
1.4482	S32001	02X20H2Г5АД	0,15		
1.4655		02X23H5Г2АД	0,10		
1.4462	S32205	02X22H6M3AG	0,18		
1.4507	S32550	02X26H6M3AG	0,17		
1.4501	S32760	02X25H7M4ГАД	0,27		

в различных отраслях промышленности, в основном, за рубежом.

Представляет интерес проанализировать эффективность использования азота в качестве легирующего элемента в металле коррозионностойких швов. В работе [9] было показано, что для достижения равноценной основному металлу типа 03X17H14AM5 коррозионной стойкости металла шва его целесообразно также легировать азотом в количествах 0,14...0,20 %. При этом металл шва с содержанием 0,06 % углерода и легированный азотом, без стабилизации Ti и Nb, не склонен к МКК.

В исследованиях, проведенных в ИЭС им. Е.О. Патона, было установлено, что легирование аустенитного металла шва азотом способствует повышению стойкости его против образования горячих трещин. Эффект усиливается при одновременном легировании швов азотом совместно с марганцем. Эти особенности были использованы при разработке сварочной проволоки 01X19H18Г10AM4 и электродов марки АНВ-17 [10].

Было установлено также, что легированный азотом металл шва типа 03X18H18Г5AM4 в сварном соединении стали 03X16H15M3 даже в условиях испытаний в 65%-й кипящей HNO_3 не проявляет склонности к межкристаллитной коррозии (рис. 7).

Еще одно положительное качество азота при легировании металла шва было установлено при оценке поведения сварных соединений сталей 03X16H15M3, 03X17H14M3, применяемых при производстве карбамида. Испытания соединений с чисто аустенитной структурой металла шва (электроды АНВ-17) и аустенитно-ферритной (электроды НЖ-13, тип легирования 09X19H10Г2M2Б) показали, что во втором случае получает развитие структурно-избирательная коррозия по ферритной фазе (рис. 8). Было установлено, что это явление вызвано перераспределением легирующих элементов между аустенитной

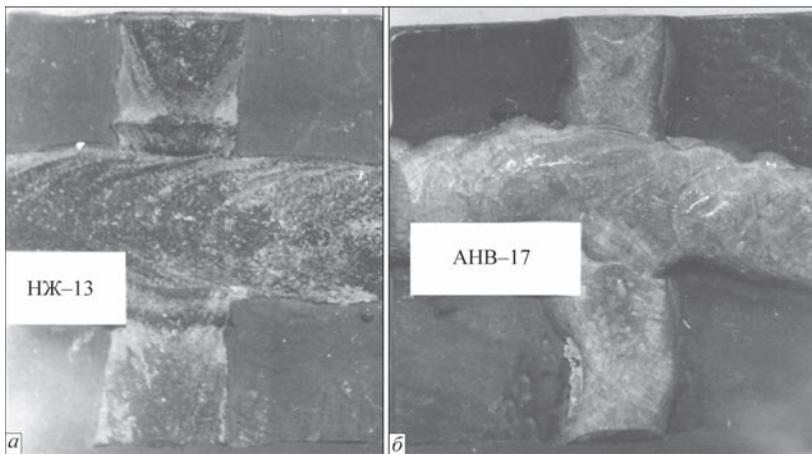


Рис. 7. Образцы с перекрещивающимися швами на стали 06X17H16M3T: *a* — электроды НЖ-13 (5,7 % феррита); *б* — электроды АНВ-17 (чисто аустенитные) после кипячения в 65%-й HNO_3 200 ч

и ферритной фазами, приводящее к возникновению гальванической микропары (феррит является анодом).

Высоколегированный металл шва, содержащий в своем составе молибден, может проявлять склонность к охрупчиванию из-за выделения в нем σ -фазы. Эта фаза выделяется при пребывании металла в диапазоне температур 600...900 °С. Ее появление было обнаружено, например, при выполнении многопроходной сварки стали 10X1713M3T толщиной 45 мм электродами марки НЖ-13 (содержание ферритной фазы в наплавленном металле 2...8 %). Чисто аустенитные швы с азотом, выполненные на этой стали электродами АНВ-17, не проявляют такой склонности [11].

В общем, с ростом содержания элементов-ферритизаторов (хрома, молибдена) в составе высоко-

легированных аустенитных сталей и однородных им металле швов с целью повышения коррозионной стойкости в особоагрессивных средах повышается склонность металла к возникновению интерметаллидных фаз. Это может привести к потере их коррозионной стойкости (рис. 9). И в этом случае легирование металла шва азотом способствует предупреждению появления избыточных фаз и сохранению высокой коррозионной стойкости.

Использование азота в качестве легирующего элемента в сварочных материалах нашло применение в современных разработках таких известных компаний, как ЭСАБ, Кобелко, Сандвик, voistalpine Böhler Welding и других.

Рассмотрим как такое легирование реализовано на примере линейки покрытых электродов концерна ЭСАБ [12].

Электроды марки ОК 64.30 (тип легирования 04X19H13M4AG, содержание азота в наплавленном металле 0,08 мас. %). Электроды используются для сварки стандартных аустенитных сталей типа 17-13-3, но благодаря повышенному содержанию хрома и молибдена в наплавленном металле достигается повышение общей коррозионной стойкости и стойкости против питтинговой

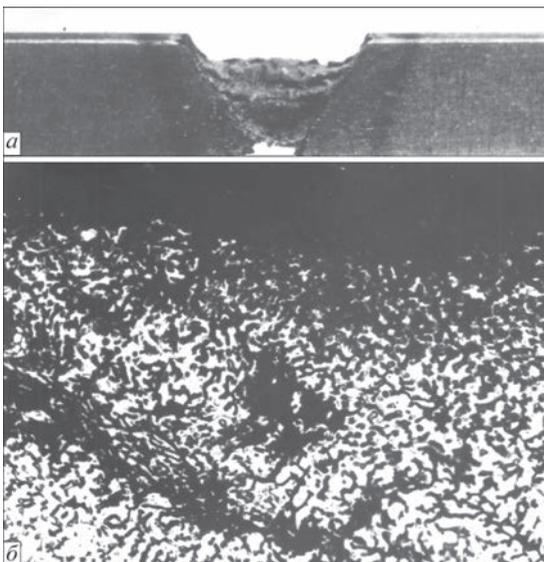


Рис. 8. Коррозионная стойкость сварного соединения сталей в производстве карбамида [11]: *a* — внешний вид сварного соединения стали 08X17H16M3T, выполненного электродами НЖ-13 (α -фаза 75 об. %) после испытаний в колонне синтеза в течение 6337 ч; *б* — микроструктура ($\times 200$) поверхностного участка образца

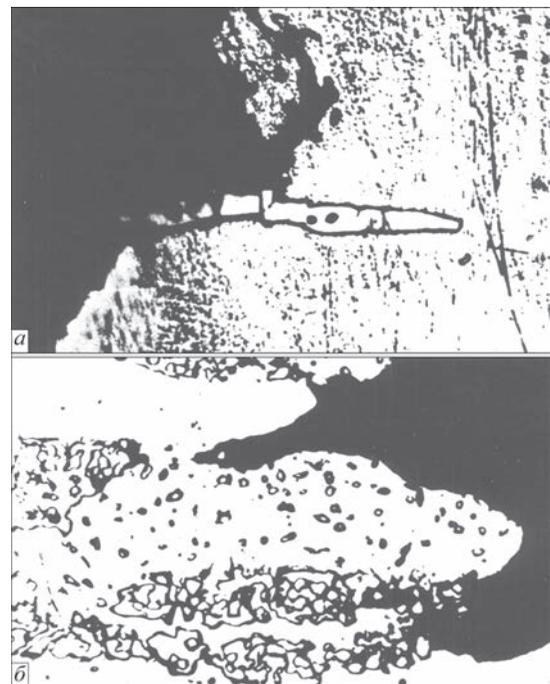


Рис. 9. Характер коррозии лопатки мешалки из стали 05X25H25M2T: *a* — после испытаний на Щекинском ПО «Азот»; $\times 2000$; *б* — после испытаний в 40%-й HNO_3 + 2 % HF; $\times 1000$

коррозии металла шва сварных соединений. С помощью азота обеспечивается повышенная стойкость против МКК, а также ограничение количества (3...6 %) ферритной фазы в наплавленном металле.

Электроды марки ОК 310Мо-Л (тип легирования 04X24Н22М3АГ4, содержание азота 0,14 мас. %). Используются для сварки сталей карбамидного класса: 03X17Н14М3Т, 06X16Н-15М3Т, 02X25Н22АМ2 и им подобных. Наплавленный металл полностью аустенитный, обладает исключительно высокой коррозионной стойкостью в чрезвычайно агрессивных средах, например, при контакте с мочевиной.

Электроды марки ОК 69.33 (тип легирования 03X20Н25М5АД2, содержание азота 0,08 мас. %). Наплавленный чисто аустенитный металл стоек к воздействию серной, ортофосфорной, уксусной, муравьиной кислот и морской воды. Устойчив против МКК, питтинговой и щелевой коррозии, а также коррозионного распрескивания.

Для сварки аустенитно-ферритных (дуплексных) сталей рекомендуется три марки покрытых электродов:

– электроды ОК 57.56 (тип легирования 04X23Н7АГ, содержание азота 0,15 мас. %) используются для сварки «бюджетных» (пониженного легирования) сталей типа 08X22Н6Т и им подобных;

– электроды ОК 67.50 (тип легирования 04X22Н9М2АГ, содержание азота 0,16 мас. %) применяют для сварки стандартных дуплексных сталей типа 21%Cr–5%Ni–3%Mo–N и им подобных;

– электроды ОК 68.54 (тип легирования 04X25Н9М4АГ, содержание азота 0,16 мас. %) применяют для сварки супердуплексных сталей типа 25%Cr–7%Ni–4%Mo–N и им подобных.

Благодаря легированию азотом обеспечивается ограничение содержания ферритной фазы в металле шва в количестве 25...35 %.

Подобные материалы для сварки азотсодержащих сталей предлагает на рынке и компания voistalpine Böhler Welding: FOX CN22/9 (тип легирования 03X23Н9АМ2, содержание азота 0,17 мас. %), FOX ASNS (тип легирования 04X19Н-17М4АГ3, содержание азота 0,15 мас. %), FOX CN20/25М-А (тип легирования 04X20Н-25М6Г4АД2, содержание азота 0,14 мас. %).

Ведущий в Украине производитель специальных электродов для сварки высоколегированных, высокопрочных сталей и разнородных соединений ООО «Сумы-Электрод» также выпускает серию покрытых электродов, обеспечивающих азотсодержащий наплавленный металл. Среди них электроды ЭА-395/9, НИАТ-5, ЦТ-10 (тип легирования 11X15Н25М6АГ2, содержание азота 0,10...0,12 мас. %), ЭА-112/15, ЭА-951/15 (тип легирования 09X15Н25М6АГ2Ф, содержание азота 0,08...0,10 мас. %), АНВ-17 (тип легирования 02X19Н18Г5АГМ3, содержание азота 0,2 мас. %).

Следует отметить, что высоколегированные азотсодержащие материалы, например, ЭА-395/9, НИАТ-5 и др., используются также при сварке ответственных конструкций из легированных высокопрочных сталей с ограниченной свариваемостью — сварке сталей аустенитного класса типа 08X18Н10Т, 10X17Н13М2Т и им аналогичных со сталями перлитного класса, выполнении переходного слоя многослойных швов в изделиях из двухслойных плакированных сталей. Кроме того их применяют для предварительной наплавки кромок деталей из сталей перлитного класса при сварке их со сталями аустенитного класса. В работе [13] наблюдали случаи появления пористости в металле швов при сварке аустенитными электродами со стержнем из проволоки Св-10X16Н25М6АФ в

Таблица 2. Химический состав азотированных ферросплавов и металлических порошков, выпускаемых ООО «Мелдис-Ферро»

Материал	Основной элемент, мас. %	Содержание элементов, мас. %					
		Не более					
		N	C	Si	Al	S	P
Феррохром азотированный FeCr55N10	Cr 55...60	8...10	0,06	1,5	5,0	0,02	0,05
Хром металлический азотированный Cr77N20	Cr 75...79	18...22	0,03	0,4	0,7	0,02	0,02
Феррониобий азотированный	Nb 45...50	10...14	0,20	15,0	5,0	0,05	0,40
Феррованадий азотированный FeV45N10	V 40...50	7...11	0,75	5,0	2,5	0,05	0,1
Феррованадий азотированный FeV37N10	V 36...45	7...15	0,75	5...15	2,5	0,05	0,1
Марганец металлический азотированный Mn85N10	Mn 83...87	8...11	0,20	1,8	-	0,05	0,07
Ферромарганец азотированный FeMn8N7	Mn 75...78	7...8	2,0	3,0	-	0,03	0,35
Ферромарганец азотированный FeMn8N10	Mn 70...75	9...14	1,5	1,0	-	0,03	0,3
Ферросилиций азотированный FeSi55N25	Si 50...58	20...28	0,15	-	1,5	0,02	0,05
Нитрид кремния	Si 63...68	25...35	0,1	-	0,4	0,02	0,05
Ферросиликомарганец азотированный FeSiMnN12	Mn 50...62	10...15	2,5	12...17	-	0,03	0,6
Силикокальций азотированный	Ca 24	15...20	0,5	40,0	2,0	-	0,02

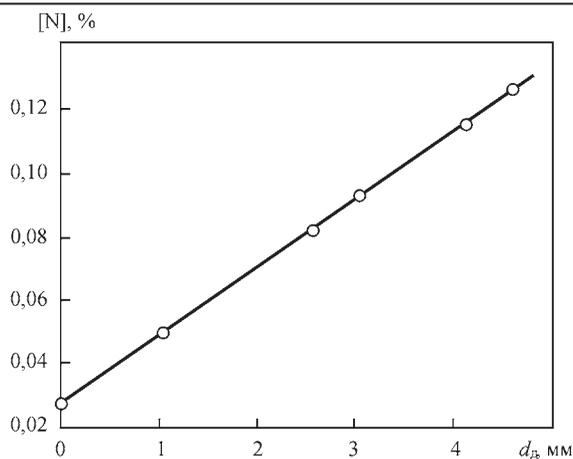


Рис. 10. Влияние диаметра дюз горелки на содержание азота в аустенитном наплавленном металле типа 08X17H9З

потолочном положении. Были предложены рекомендации по ограничению содержания азота в металле шва величиной 0,09 % (вместо 0,1...0,2 %). Вместе с тем устранение пор азотного происхождения может быть достигнуто повышением концентрации кислорода в расплаве сварочной ванны [14] путем ввода, например, оксидов железа или хрома в покрытие электродов.

Относительно способа ввода азота, как легирующего элемента, в металл шва. Наиболее часто используют легирование через сварочную проволоку. В ряде случаев такое легирование возможно осуществлять, используя азотсодержащие металлические порошки или ферросплавы в электродных покрытиях или сердечниках порошковых проволок. Содержание азота в них может достигать 25...35 мас. % (табл. 2).

В процессах МИГ и МАГ сварки возможно обеспечить легирование металла шва азотом также путем использования специальной инжекторной горелки (рис. 10).

В заключение следует отметить, что представленный краткий обзор свидетельствует о благоприятном влиянии азота в составе высоколегированного коррозионноустойчивого металла швов с целью повышения стойкости их против локальных видов коррозии, прочностных характеристик без снижения пластичности и вязкости, технологической прочности, стабилизации структурного состояния.

Список литературы

1. Шнайдел М.О. (2005) Новые азотсодержащие аустенитные нержавеющие стали с высокими прочностью и пластичностью. *Металловедение и термическая обработка металлов*, **11**, 9–14.
2. Березовская В.В., Костина М.В., Блинов Е.В. и др. (2008) Коррозионные свойства аустенитных Cr–Mn–Ni–N-сплавов с разным содержанием марганца. *Металлы*, **1**, 36–41.
3. Han Dong, Jie Su, Speidel V.O. (2006) *Proceedings of 9-th International Conference on High Nitrogen Steels*. HNS, Beijing China. Beijing, Metallurgical Industry Press.
4. Блинов Е.В. (2018) Развитие систем легирования высокоазотистых аустенитных сталей для тяжелонагруженных изделий криогенной техники. Автор. докт. дис. ... , 41 с.
5. Kamachi Mudali U., Ningshen S., Tyagi A.K., Dayal R.K. (1988) Influence of metallurgical and chemical variables on the pitting corrosion behaviour of nitrogen-bearing austenitic stainless steel. *High Nitrogen Steels. Abstr. 5th Intern. Conf. Espoo-Stockholm*.
6. Шапиро М.Б., Берыштейн М.Л., Барсукова И.М. (1984) Влияние азота на стойкость стали типа 03X19AG3N10 против межкристаллитной коррозии. *МиТОМ*, **1**, 45–47.
7. Липодаев В.Н., Ющенко К.А., Новикова Д.П. и др. (1986) Повышение свариваемости и коррозионной стойкости сварных соединений стабильноаустенитных сталей и сплавов. *Автоматическая сварка*, **8**, 4–7.
8. Ogawa T., Tsenetomi E. (1982) Hot cracking susceptibility of austenitic stainless steels. *Weld. J.*, **3**, 82–83.
9. Gottschalck H. (1976) Schweißen neuer korrosion beständiger stahl. *Die Schweisstechnik in Dierste der Energieversorgung und des Chemanlagenbaus*, **6**, 91–99.
10. Каховский Н.И., Фаргушный В.Г., Ющенко К.А. (1975) *Электродуговая сварка сталей. Справочник*. Киев, Наукова думка.
11. Сидоркина Ю.С., Манкевич Т.В., Зинченко Н.Г. и др. (1986) Легирование металла шва для повышения его коррозионной стойкости. *Химическое и нефтяное машиностроение*, **4**, 26–28.
12. (2017) *Каталог продукции Сварочные материалы ESAB*.
13. Елагин В.П., Снисарь В.В., Липодаев В.Н., Артюшенко Б.Н. (1995) Инжекторная горелка для дуговой сварки плавящимся электродом в защитном газе. *Автоматическая сварка*, **5**, 60–61.
14. Грищенко Л.В., Киселев Я.Н., Петрыкин В.И. (1978) Снижение склонности к порообразованию в металле шва при сварке аустенитными электродами на хромоникелевой основе. *Вопросы судостроения. Серия сварка*, **26**, 20–24.
15. Писарев В.А., Жизняков С.Н. (2016) Влияние кислорода на процесс образования вызываемых азотом пор при дуговой сварке плавящимся электродом. *The Paton Welding Journal*, **7**, 47–50.

References

1. Shnajdel, M.O. (2005) New nitrogen-containing austenitic stainless steels with high strength and plasticity. *MITOM*, **11**, 9-14 [in Russian].
2. Berезovskaya, V.V., Kostina, M.V., Blinov, E.V. et al. (2008) Corrosion properties of austenitic Cr–Mn–Ni–N alloys with different content of manganese. *Metally*, **1**, 36-41 [in Russian].
3. Han Dong, Jie Su, Speidel V.O. (2006) *In: Proc. of 9th Int. Conf. on High Nitrogen Steels*. HNS (Beijing, China). Beijing, Metallurgical Industry Press.
4. Blinov, E.V. (2018) Development of alloying systems of high-nitrogen austenitic steels for heavy loaded products of cryogenic engineering. *In: Syn. of Thesis for Dr. of Techn. Sci. Degree* [in Russian].
5. Kamachi Mudali, U., Ningshen, S., Tyagi, A.K., Dayal, R.K. (1988) Influence of metallurgical and chemical variables on the pitting corrosion behavior of nitrogen-bearing austenitic stainless steel. *In: Abstr. of Papers of 5th Intern. Conf. on High Nitrogen Steels*. Espoo-Stockholm.
6. Shapiro, M.B., Beryshtejn, M.L., Barsukova, I.M. (1984) Influence of nitrogen on resistance of steel of 03Kh19AG3N10 type to intercrystalline corrosion. *MITOM*, **1**, 45-47 [in Russian].
7. Lipodaev, V.N., Yushchenko, K.A., Novikova, D.P. et al. (1986) Improvement of weldability and corrosion resistance of welded joints from stable austenitic steels and alloys. *Avtomatich. Svarka*, **8**, 4-7 [in Russian].
8. Ogawa, T., Tsenetomi, E. (1982) Hot cracking susceptibility of austenitic stainless steels. *Weld. J.*, **3**, 82-83.
9. Gottschalck, H. (1976) Schweißen neuer Korrosion bestaendiger Stahl. *Die Schweisstechnik in Dierste der*

- Energieversorgung und des Chemanlagenbaus*, 6, 91-99 [in German].
10. Kakhovsky, N.I., Fartushny, V.G., Yushchenko, K.A. (1975) *Electric arc welding of steels: Reference book*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
 11. Sidorkina, Yu.S., Mankevich, T.V., Zinchenko, N.G. et al. (1986) Alloying of weld metal for increase of its corrosion resistance. *Khimicheskoe i Neftyanoe Mashinostroenie*, 4, 26-28 [in Russian].
 12. (2017) *ESAB welding consumables: Product catalog*.
 13. Elagin, V.P., Snisar, V.V., Lipodaev, V.N., Artyushenko, B.N. (1995) Injector torch for consumable electrode shielded-gas arc welding. *Avtomatich. Svarka*, 5, 60-61 [in Russian].
 14. Grishchenko, L.V., Kiselev, Ya.N., Petrykin, V.I. (1978) Decrease of susceptibility to pore formation in weld metal during welding with austenitic electrodes based on chrome-nickel. *Voprosy Sudostroeniya. Seriya Svarka*, 26, 20-24 [in Russian].
 15. Pisarev, V.A., Zhiznyakov, S.N. (2016) Oxygen influence on the process of nitrogen-induced pore formation in consumable electrode arc welding. *The Paton Welding J.*, 7, 47-50.

ЛЕГУВАННЯ МЕТАЛУ ШВА АЗОТОМ ПРИ ДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ КОРОЗИЙНОСТІЙКИХ СТАЛЕЙ (Огляд)

В.М. Ліподасв

ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Показано сприятливий вплив легування високолегованих корозійностійких сталей і металу швів азотом на стабілізацію структури, попередження зерномежевої сегрегації в металі околшовної зони і металі шва, забезпечення високої корозійної стійкості і технологічної міцності зварних з'єднань. Бібліогр. 15, табл. 2, рис. 10.

Ключові слова: дугове зварювання, корозійностійкі сталі, легування азотом, структура, корозійна стійкість, технологічна міцність

NITROGEN ALLOYING OF WELD METAL IN ARC WELDING OF CORROSION-RESISTANT STEELS (Review)

V.N. Lipodaev

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.
11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: office@paton.kiev.ua

The paper shows the favourable effect of nitrogen alloying of high-alloyed corrosion-resistant steels and weld metal on stabilization of the structure, prevention of grain boundary segregation in the HAZ and weld metal, and ensuring high corrosion resistance and technological strength of welded joints. 15 Ref., 2 Tabl., 10 Fig.

Keywords: arc welding, corrosion-resistant steels, nitrogen alloying, structure, corrosion resistance, technological strength, coated electrodes

Поступила в редакцію 10.04.2019

ЖУРНАЛИ для професіоналів



Видається з 1989 р.
Виходить 4 рази на рік
ISSN 0235-3474
doi.org/10.15407/tdnk
Передплатний індекс 74475



Видається з 1948 р.
Виходить 12 разів на рік
ISSN 0005-111X
doi.org/10.15407/as
Передплатний індекс 70031



Видається з 1985 р.
Виходить 4 рази на рік
ISSN 2415-8445
doi.org/10.15407/sem
Передплатний індекс 70693

Журнали входять до Переліку наукових фахових видань України
+38 (044) 200-82-77
journal@paton.kiev.ua; www.patonpublishinghouse.com