

УДК 621.791.92

**ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МЕТАЛЛА ШВА
НА СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛИ 08X18АН5**

©Дерябкина Е. С., Чуб А. Ю.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

Дерябкина Євгенія Станіславівна: ORCID: 0000-0002-5531-0124; 216464@mail.ru; кандидат технічних наук; доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Чуб Олексій Юрійович: ORCID: 0000-0003-3095-2267; chub_0777@mail.ru; студент факультету комп'ютерних і інтегрованих технологій у виробництві та освіті; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Приведены результаты исследований по влиянию химического состава металла швов, наплавленных стандартными и новыми сварочными материалами при ручной электродуговой сварке, покрытыми электродами, аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом с присадкой, автоматической сваркой под флюсом, стали 08X18АН5 на механические и коррозионные свойства сварных соединений. Установлено, что механические свойства сварных соединений не зависят от способа и режима сварки, а обуславливаются химическим составом металла шва. Величина зерна в ЗТВ при всех способах сварки не изменилась, соответствует 7-му баллу, как и в основном металле в состоянии поставки. Стойкость сварных соединений против межкристаллитной коррозии в исходном состоянии после сварки обуславливается стойкостью металла шва, а после провоцирующего отжига при температуре 650 °С в течении часа – стойкостью металла шва и зоны термического влияния. Оптимальное сочетание механических свойств и стойкости против межкристаллитной коррозии сварных соединений стали 08X18АН5 достигается при содержании в металле шва 17-18 % хрома, 6-7 % никеля, 2-3 % марганца, 0,12-0,15 % азота и углерода до 0,05 %.

Из стандартных материалов лучшие результаты дает применение проволок Св-01Х19Н9 и Св-07Х20Н9Г7Т при аргонодуговой сварке, электродов НИАТ-1 или ЦЛ-11 при ручной электродуговой сварке, проволоки Св-07Х19Н10Б при автоматической сварке под флюсом АН-26.

Ключевые слова: коррозионностойкая сталь; азот; никель; межкристаллитная коррозия; механические свойства; химический состав; металл шва; зона термического влияния.

Дерябкина Є. С., Чуб О. Ю. «Вплив хімічного складу металу шва на властивості зварних з'єднань сталі 08X18АН5».

Наведено результати досліджень щодо впливу хімічного складу металу швів, наплавлених стандартними і новими зварювальними матеріалами при ручному дуговому зварюванні, покритими електродами, аргонодуговому зварюванні неплавким електродом з присадкою, автоматичному зварюванні під флюсом на сталі 08X18АН5, на механічні та корозійні властивості зварних з'єднань. Встановлено, що механічні властивості зварних з'єднань не залежить від способу і режиму зварювання, а обумовлюються хімічним складом металу шва. Величина зерна в ЗТВ при всіх способах зварювання не змінилася, відповідає 7-му балу, як і в основному металі в стані поставки. Стійкість зварних з'єднань проти міжкристалітної корозії в початковому стані після зварювання обумовлюється стійкістю металу шва, а після

провокуючого відпалу при температурі 650⁰С протягом години - стійкістю металу шва і зони термічного впливу. Оптимальне поєднання механічних властивостей і стійкості проти міжкристалітної корозії зварних з'єднань сталі 08Х18АН5 досягається при вмісті в металі шва 17-18 % хрому, 6-7 % нікелю, 2-3 % марганцю, 0,12-0,15 % азоту, вуглецю до 0,05 %.

Зі стандартних матеріалів кращі результати дає застосування дротів Св-01Х19Н9 і Св-07Х20Н9Г7Т при аргонодуговому зварюванні, електродів НІАТ-1 або ЦІ-11 при ручному дуговому зварюванні, дроту Св-07Х19Н10Б при автоматичному зварюванні під флюсом АН-26.

Ключові слова: корозійностійка сталь; азот; нікель; міжкристалітна корозія; механічні властивості; хімічний склад; метал шва; зона термічного впливу.

Deryabkina E., Chub A. "Effect of chemical composition on the properties of the weld metal steel welded joints 08H18AN5".

The results of studies on the influence of the chemical composition of weld metal, weld standard and new welding consumables for manual arc welding with coated electrodes, TIG welding consumable electrode doped, automatic submerged arc welding, steel 08H18AN5 on mechanical and corrosion properties of welded joints. It is found that the mechanical properties of welded joints does not depend on the method and welding conditions, as conditioned by the chemical composition of the weld metal. The grain size of the HAZ in welding processes has not changed, the 7th corresponds score as the base metal in a state of delivery. Resistance welded joints to intergranular corrosion in the initial state after welding is caused by resistance of the weld metal, and, after provoking annealing at 650⁰С for an hour - resistance of the weld metal and heat affected zone. The optimum combination of mechanical properties and resistance to intergranular corrosion 08H18AN5 steel welded joints is achieved when the content of the weld metal of 17-18 % chromium, 6-7 % nickel, 2-3 % manganese, 0,12-0,15 % nitrogen, carbon 0,05 %.

From the standard materials the best results are obtained by the use of wire Sv-01H19N9 and Sv-07H20N9G7T with TIG welding electrodes NIAT-1 or CL-11 for manual arc welding, St-07H19N10B wire for automatic welding under flux AN-26.

Key words: corrosion-resistant steel; nitrogen; nickel; intergranular corrosion; mechanical properties; chemical composition; the weld metal; heat affected zone.

1. Актуальность

Легирование азотом стали 08Х18АН5 [1, 2], разработанной в качестве заменителя сталей типа 18-8 и 18-10, позволяет как снизить содержание дорогого и дефицитного никеля, что является актуальной задачей при изготовлении химического оборудования из высоколегированных коррозионностойких сталей.

2. Постановка проблемы

Добавка азота существенно расширяет область аустенита и повышает его термодинамическую устойчивость [3]. При определенных условиях азот измельчает первичную структуру аустенитного металла. Атомы азота внедряются в гранцентрированную решетку аустенита, вызывая её искажение, возрастающее почти линейно с увеличением количества азота, что повышает пределы текучести и прочности металла [3, 4].

Технологія машинобудування

Данные о влиянии азота и углерода на склонность к межкристаллитной коррозии сварных соединений стали 08X18АН5, как заменителя стали 12X18Н10Т, практически отсутствуют. Для основного металла такие данные приведены в работе [5].

Известно, что азот при содержании до 0,2 % не снижает стойкости стали 08X18АН5 против межкристаллитной коррозии [6]. Основной причиной межкристаллитной коррозии этой стали, как и аустенитных сталей типа 18-8, является повышение содержания углерода.

Анализируя нормативные материалы и различные технические условия на изготовление химической аппаратуры, а также состояние технологии сварки на некоторых заводах химического машиностроения, можно заключить, что интенсивная коррозия сварных швов и сокращение службы химической аппаратуры между ремонтами обусловлены в ряде случаев неправильным выбором присадочных материалов (проволок, электродов) как при сварке новых аппаратов, так и при их ремонте.

При выборе сварочных материалов прежде всего стремятся обеспечить стойкость швов против МКК путем их легирования ванадием (2-3 %) и кремнием (1,5-2 %), которые также способствуют образованию феррита в швах и исключают появление горячих трещин. Однако установлено отрицательное действие ванадия и кремния при содержании более 0,8 % на общую коррозионную стойкость хромоникелевых сталей типа 18-10 в концентрированной азотной кислоте [6, 8]. Аустенизация сварных соединений предотвращает сосредоточенность коррозии. Охрупчивание хромоникелевых сталей и хромоникельмарганцовистых сталей возрастает с повышением содержания углерода в стали и ферритной фазы в ней свыше 10 %. При использовании сварочных проволок с азотом и марганцем обеспечиваются более высокие характеристики прочности, стойкость против образования горячих трещин металла шва, а также коррозионная стойкость сварных соединений хромоникелевых и азотосодержащих чистоаустенитных сталей [3, 8].

3. Цель исследований

На основании вышеизложенного целью настоящих исследований является изучение влияния химического состава металла швов, наплавленных стандартными и новыми сварочными материалами на механические и коррозионные свойства сварных соединений стали 08X18АН5.

4. Основной материал

Исследования выполняли на листовой стали 08X18АН5 толщиной 10 мм. Для сварки выбраны стандартные сварочные материалы, рекомендованные ИЭС им. Е.О. Патона [8]. Из стыковых сварных соединений [9] изготавливали образцы для определения химического состава металла шва, металлографического исследования, испытания на изгиб и статическое растяжение, а также для испытания на склонность к межкристаллитной коррозии по методу АМ ГОСТ 6032-75. Химический состав металла швов приведен в табл. 1.

Содержание С, N, S, P определяли химическим методом. Содержание остальных элементов определяли спектральным методом. С этой целью определяли способность металла

околошовной зоны выдержать заданную пластическую деформацию, которая характеризуется углом загиба. Образцы для испытаний изготавливали в соответствии ГОСТ 14019-78. Центр изгиба находился на расстоянии 5 мм от линии сплавления. Установлено, что угол загиба для всех образцов составлял 180 без образования трещин (табл. 2).

Таблица 1 – Химический состав металла швов стали 08X18АН5

Способ сварки, присадочный материал	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Nb	Mo	Al	N	S	P	
Ручная аргонодуговая: Св-07X19Н10Б	0,040,06	0,22	1,0	19,05	8,5	0,032	0,8	-	-	0,001	0,015	0,03	
Св-07X18Б8ТЮ		0,32	0,3	17,78	6,8	0,74	-	Сл	0,5	0,043	0,008	0,02	
Св-08X20Н9Г7Т		0,07	0,38	3,0	18,5	6,4	0,8	-	Сл	-	0,043	0,009	0,03
Св-07X19Н9		0,05	0,32	1,0	18,75	6,3	-	-	-	-	0,06	0,010	0,02
Ручная электродуговая: ЦЛ-11	0,09	0,17	1,25	19,15	8,7	0,03	0,9	-	-	0,052	0,010	0,03	
ОЗЛ-8	0,04	0,57	1,40	18,78	7,24	Сл	-	Сл	-	0,09	0,01	0,02	
НИАТ-1	0,07	0,60	0,75	19,50	7,58	Сл	-	1,6	-	0,027	0,017	0,03	
АНВ-13	0,06	0,012	0,54	17,50	9,45	Сл	-	Сл	-	0,024	0,01	0,03	
Автоматическая под флюсом: Св-07X19Н10Б	0,10	0,4	0,65	10,0	8,65	0,04	0,4	-	-	0,082	0,018	0,02	
Св-01X19Н9	0,09	0,63	1,20	18,30	6,90	Сл	-	Сл	-	0,1	0,007	0,25	

Сравнительная диаграмма механических свойств сварных соединений приведена на рис. 1.

На основании результатов выполненного эксперимента можно сделать вывод, что для низконикелевой стали 08X18АН5 применение различных способов сварки плавлением и разных присадочных материалов для определенной толщины не снижает пластичности металла околошовной зоны.

При аргонодуговой сварке лучшим присадочным материалом для сварки 08X18АН5 являются проволоки Св-01X19Н9 и Св-08X20Н9Г7Т.

При ручной электродуговой сварке стали 08X18АН5 лучший комплекс механических свойств сварных соединений обеспечивают электроды марки ЦЛ-11. Разрыв всех образцов сварных соединений, выполненных вручную покрытыми электродами и аргонодуговым способом, произошел по границе сплавления.

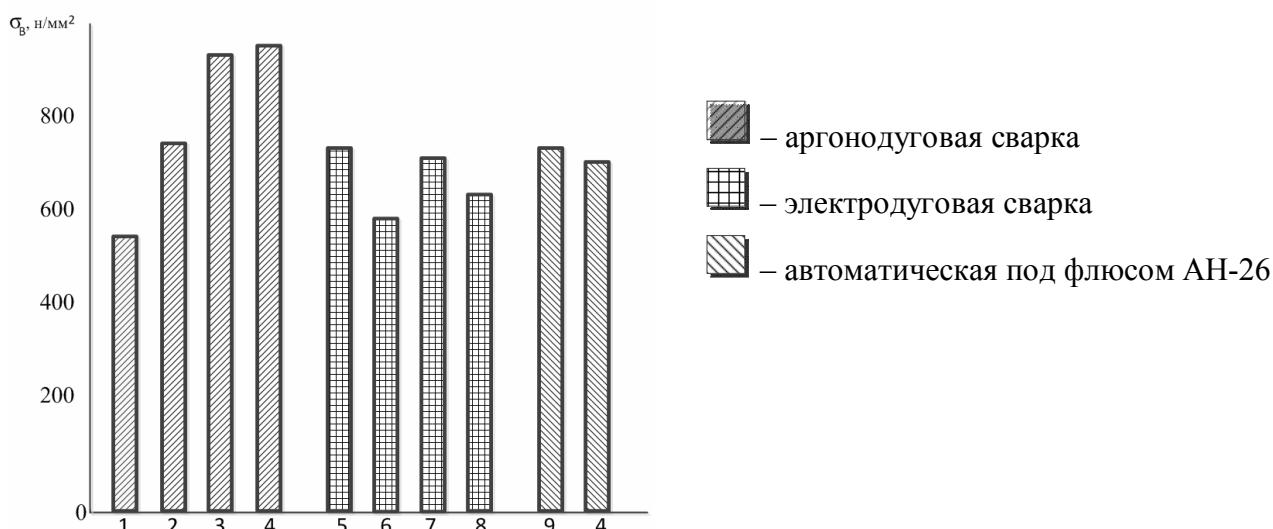
При автоматической сварке под флюсом АН-26 более высокие механические свойства сварных соединений получены при применении проволоки Св-07X19Н10Б.

Анализируя механические свойства сварных соединений, можно сделать вывод, что для низконикелевой стали 08X18АН5 наиболее благоприятной является ручная аргонодуговая сварка с применением в качестве присадки сварочной проволоки марки Св-01X19Н9, микроструктура металла шва которого аустенитная (рис. 2).

Металл околошовной зоны не изменялся под влиянием различных способов сварки и присадочных материалов. Граница сплавления выделена довольно четко. Увеличение зерна в околошовной зоне не наблюдается. Зерно соответствует 7-му баллу, как в основном металле в состоянии поставки.

Таблица 2 – Механические свойства сварных соединений стали 08X18АН5

Способ сварки	Сварочные материалы	Предел Прочности σ_B , МПа	Угол загиба, град.	Твердость металла шва (HRB)
Аргонодуговая	Св-01X19Н6	927-970/947	180	94
	Св-07X18Н9ТЮ	465-106/758	180	99
	Св-07X19Н10Б	569-641,3/595	110	92
	Св-08X20Н9Г7Т	927-970/949	180	94
Ручная электродуговая:	ЦЛ-11	729,3-763,3/750,9	133-140/136,5	91
	ОЗЛ-8	590-675/644	180	94
	НИАТ-1	681-711/695	180	93
	АНВ-13	665-687/679	180	88
Автоматическая под флюсом:	флюс АН-26		90-110/100	
	Св-07X19Н10Б	719,0-747,6/730,4	180	87
	Св-01X19Н9	31,0-763,0/701,0		90



Присадочный материал: 1 – Св-07X19Н10Б; 2 – Св-07X18Н9ТЮ; 3 – Св-08X20Н9Г7Т; 4 – Св-07X19Н9; 5 – ЦЛ-11; 6 – ОЗЛ-8; 7 – НИАТ-1; 8 – АНВ-13; 9 – Св-07X19Н10Б

Рис. 1 – Диаграмма механических свойств сварных соединений

Твердость различных участков сварного соединения не зависит от способов сварки и присадочных материалов (табл. 3). Содержание ферритной составляющей в металле швов зависит от их химического состава. Повышенное содержание ферритизирующих элементов (хрома, титана, алюминия) в металле шва, наплавленного в аргоне сварочной проволокой Св-07X18Н9ТЮ обусловило увеличение феррита до 70%. Чувствительность сварных соединений к межкристаллитной коррозии определяли испытанием в серноокислом растворе медного купороса в присутствии медной стружки по методу АМ ГОСТ6032-89.

Наличие межкристаллитной коррозии выявляли в результате осмотра изогнутых на 90° образцов после кипячения в указанном растворе. Испытанию подвергали образцы

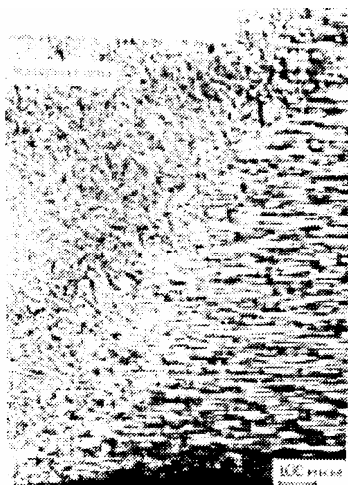


Рис. 2 – Микроструктура сварного соединения стали 08X18АН5, выполненного аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом с присадочной проволокой Св-01Х19Н9, х200

сварных соединений стали 08X18АН5 в состоянии после сварки и после провоцирующего нагрева при температуре 650° в течении 1 часа. Охлаждение на воздухе. Результаты испытаний приведены в табл. 4. Из приведенных данных (табл. 4) видно, что проволока Св-01Х19Н9 не обеспечивает стойкости против межкристаллитной коррозии сварных соединений, выполненных автоматически под флюсом АН-26. Образцы сварных соединений стали 08X18АН5 после провоцирующего нагрева подвержены этому виду коррозионного разрушения в зоне термического влияния. Эти результаты хорошо согласуются с данными работы [7], в которой показано, что допустимое содержание углерода в металле швов ограничено 0,05 %.

Следовательно, стандартные сварочные материалы не обеспечивают стойкости против МКК сварных соединений после провоцирующего нагрева при температуре 650° в течении 1 часа. Поэтому возникла необходимость исследования опытных сварочных материалов, которые были выбраны на основании анализа и совмещения построенных диаграмм Роллансона для металла швов и зон сплавления сварного соединения стали 08X18АН5 после различных режимов отпуска [7].

Таблица 3 – Твердость и содержание феррита в металле швов стали 08X18АН5

Способ сварки	Присадочный материал	Твердость, HRB	Содержание феррита
Ручная аргонодуговая	Св- 07X18Н9ТЮ	99	70
	Св-08X20Н9Г7Т	92	17
	Св- 01X19Н9	94	9,3
Ручная электродуговая	ОЗЛ-8	94	7
	НИАТ-1	93	7,5
	АНВ-13	98	5,5
Автоматическая под флюсом АН-26	Св-01Х19Н9	90	10,5

Химический состав металла швов, выполненных автоматической сваркой под флюсом АН-26 новыми сварочными материалами (табл. 5), характеризуется содержанием марганца (2-2,5 %), азота (0,12-0,15 %), углерода (0,048-0,05 %)

Испытания на стойкость против МКК в стандартном растворе по методу АМ ГОСТ6032-89 показали, что в исходном состоянии после сварке металл швов образцов 1-3 не склонен к МКК.

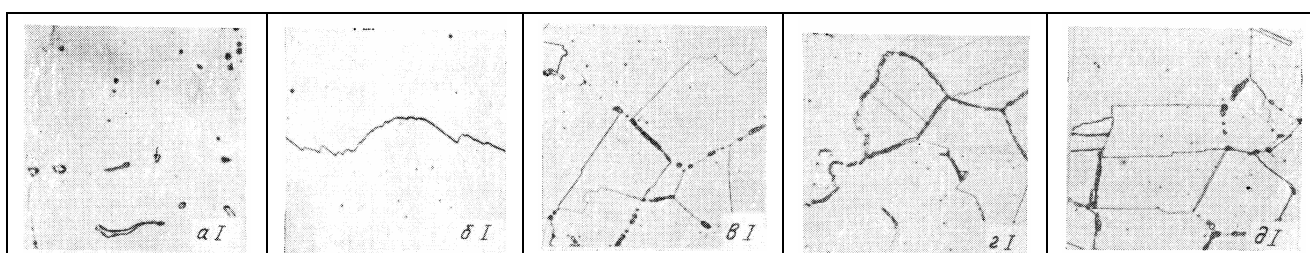
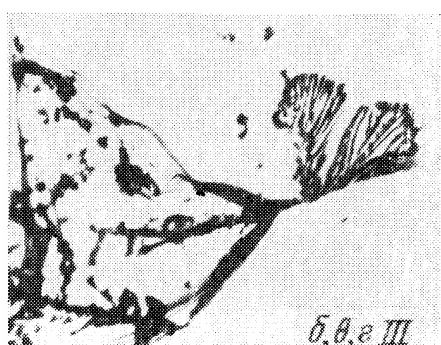
После отпуска при 650° С в течении 1 часа. как показало исследование микроструктуры, по границам зерен по всей длине образцов имеются участки сплошных выделений мелких карбидов хрома. Глубина межкристаллитной коррозии до 2 мм (рис. 3). Наиболее узкая область склонности к МКК в ЗТВ 2-го и 3-го образцов сварных соединений.

Таблица 4 – Результаты испытаний образцов сварных соединений стали 08X18АН5 на склонность к МКК

Сварочные материалы	Св-07X18Н9ТЮ +Ag	Св-08X20Н9Г7Т +Ag	Св-01X19Н9 +Ag	ОЗЛ-8	НИАТ-1	АНВ-13	Св-01X19Н9, АН-26	Св-07X19Н10Б, АН-26
Состояние образца								
Исходное состояние	нет	нет	нет	нет	нет	нет	МКК шва	нет
После т/о 650 ⁰	МКК ЗТВ	МКК ЗТВ	МКК ЗТВ	МКК шва	МКК ЗТВ	МКК ЗТВ	МКК шва	МКК ЗТВ

Таблица 5 – Химический состав металла швов на стали 08X18АН5, выполненных автоматом под флюсом

Образец	Результаты анализа, %							
	C	N	Si	Mn	Cr	Ni	S	P
1	0,048	0,096	0,16	2,51	17,0	6,3	0,02	0,025
2	0,05	0,15	0,08	2,07	16,7	6,25	0,019	0,022
3	0,055	0,12	0,17	2,58	16,8	6,3	0,016	0,028

**Рис. 3** – Карбиды хрома в основном металле(а) и ЗТВ сварного соединения стали 08X18АН5 (образец 2) на расстоянии 2 мм (б), 4 мм (в), 6 мм (г), 8 мм (д) от линии сплавления, после отпуска при температуре 650⁰ С в течении 1ч, x700.**Рис. 4** – Карбиды хрома в ЗТВ сварного соединения стали 08X18АН5 (образец 2) на расстоянии 2 мм (б), 4 мм (в) и 6 мм (г), после отпуска при температуре 650 °С в течении 600 мин, x7500

После 10-ти часовой выдержки при температуре 650⁰С в структуре различных участков зоны термического влияния имеются лишь скоагулированные разобщенные карбиды хрома. Причем с удалением от зоны сплавления расстояния между карбидами увеличивается (рис. 4).

Выводы

Изучено влияние на свойства сварных соединений низконикелевой стали 08X18АН5 следующих способов сварки ручной электродуговой покрытыми электродами, ручной аргонодуговой неплавящимся вольфрамовым электродом с присадочной проволокой и автоматической под слоем флюса с применением стандартных сварочных проволок, рекомендуемых ИЕС им. Е. О. Патона.

Установлено, що при всіх способах сварки в ЗТВ величина зерна не змінилась і соответствовала 7-му баллу, як і в основному металі в стані поставки.

Механічні властивості зварних з'єдинень сталі 08X18АН5 не залежить від способу і режиму сварки, а обумовлюються хімічним складом металу шва.

Установлено, що спосіб сварки не оказує впливу на стійкість зварних з'єдинень сталі 08X18АН5 проти міжкристалітної корозії. Стійкість зварних з'єдинень сталі 08X18АН5 проти міжкристалітної корозії в вихідному стані після сварки обумовлюється стійкістю металу шва; після провокуючого нагріву при температурі 650 °С в теченні години – стійкістю металу шва і металу ЗТВ. Електроди ОЗЛ-8 і проволочку Св-01Х19Н9 при автоматическій сварці під флюсом АН-26 не рекомендується застосовувати при сварці сталі 08X18АН5 внаслідок схильності зварних з'єдинень до міжкристалітної корозії.

Оптимальне поєднання механічних властивостей і стійкості проти МКК зварних з'єдинень сталі 08X18АН5 досягається при вмісті в металі шва 17-18 % хрому, 6-7 % нікелю, 2-3 % марганцю, 0,12-0,15 % азоту, 2-3 % марганцю, вуглероду до 0,05 %.

З стандартних зварочних матеріалів кращі результати дає застосування проволочек Св-01Х19Н9, Св-07Х20Н9Г7Т при аргонодугової сварці і проволочки Св-07Х19Н10Б при автоматическій сварці під флюсом АН-26.

Отримані дані дають підставу для застосування низьонікелевої сталі 08X18АН5 замість сталі типу 18-10 при виготовленні зварного хімічного обладнання, що забезпечить економію 50 кг дефіцитного і дорогого нікелю на 1 т сталі.

Список использованных источников:

1. Гуляев А. П. Новые низколегированные нержавеющие стали // А. П. Гуляев, Т. А. Жадан. – М. : Машиностроение, 1972. – 104 с.
2. Parshin A. M. Structure, Strength and Radiation Damage of Corrosion-Resistant Steels and Alloys / A. M. Parshin ; American Nuclear Society. La Grande Park. – Illinois, 1996. – 361 p.
3. Житников Н. П. Влияние азота на структуру аустенитного металла шва / Н. П. Житников, И. А. Зак // Сварочное производство. – 1996. – № 8. – С. 27-33.
4. Трегубенко Г. Н. Перераспределение азота между фазами при кристаллизации высокоазотистой стали / Г. Н. Трегубенко // Проблемы спец. электрометаллургии. – 1999. – № 4. – С. 57-66.
5. Hsieh C. C. Precipitation Behavior of σ Phase in 19Cr-9Ni-2Mn and 18Cr-0.75Si Stainless Steels Hot-Rolled at 800 °C with Various Reduction Ratios" / C. C. Hsieh, D. Y. Lin, W. Wu // Materials Science and Engineering A. – 2007. – Vol. 467, No. 1-2. – P. 181-189.
6. Mischenko V. Cr. Metallurgical aspects of the production of chromium-nickel steels with low carbon contents / V. Cr. Mischenko // Foundry Journal of Polish Foundrymen's Technical Association. – 2003. – № 9. – P. 326-329.
7. Дерябкина Е. С. Влияние термической обработки на склонность к МКК зварных з'єдинень низьонікелевої корозійностійкої сталі з азотом / Е. С. Дерябкина, М. Н. Жежер // Машиностроение. – Харьков, 2012. – № 9. – С. 78-86.
8. Каховский Н. И. Сварка высоколегированных сталей / Н. И. Каховский. – Киев : Техника, 1995. – 169 с.
9. Сварка в химическом машиностроении. ОН 26-01-71-82. – М., 1982. – 43 с.

References

1. Gulyaev, A & Zhadan, T 1972, 'Novyye nizkolegirovannyye nerzhavayushchiye stali', Mashinostroyeniye, Moskva.
2. Parshin, A 1996, 'Structure, Strength and Radiation Damage of Corrosion-Resistant Steels and Alloys', *American Nuclear Society*, La Grande Park, Illinois, USA.
3. Zhitnikov, N & Zaks, I 1996, 'Vliyaniye azota na strukturu austenitnogo metalla shva', *Svarochnoye proizvodstvo*, no. 8, pp. 27-33.
4. Tregubenko, G 1999, 'Pereraspredeleniye azota mezhdru fazami pri kristallizatsii vysokoazotistoy stali', *Problemy spets. elektrometallurgii*, no. 4, pp. 57 - 66.
5. Hsieh, C, Lin, D & Wu, W 2007, 'Precipitation Behavior of σ Phase in 19Cr-9Ni-2Mn and 18Cr-0.75Si Stainless Steels Hot-Rolled at 800 °C with Various Reduction Ratios', *Materials Science and Engineering A*, vol. 467, no. 1-2, pp. 181-189.
6. Mischenko, V 2003, 'Metallurgical aspects of the production of chromium-nickel steels with low carbon contents', *Foundry Journal of Polish Foundrymen's Technical Association*, no. 9, pp. 326-329.
7. Deryabkina, E & Zhezher, M 2012, 'Impact of the thermal treatment to hang to ICC of welded joints of low-alloyed corrosion-resistant steel with nitrogen', *Mashynobuduvannia*, iss. 9, pp. 78-86.
8. Kakhovskiy, N 1995, *Svarka vysokolegirovannykh staley*, Tekhnika, Kyiv.
9. *Svarka v khimicheskoy mashinostroyenii*. ON 26-01-71-82, Moskva.

Стаття надійшла до редакції 11 листопада 2016 р.