

©Дерябкіна Є.С.

## **ВПЛИВ СПОСОБУ РАФІНУВАННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ СТАЛІ 03X19AG3N10 ДЛЯ ТРУБНОГО ПУЧКА ВИПАРНОГО АПАРАТУ**

### **1. Вступ**

Економія металу шляхом підвищення його міцнісних характеристик і корозійної стійкості є актуальною проблемою хімічного машинобудування. Важливе значення з цього погляду має використання для зварних конструкцій високолегованих сталей, легованих марганцем і азотом.

Низьковуглецева корозійностійка сталь марки 03X19AG3N10 із межею текучості більше 350 МПа розроблена як замітник недостатньо міцної сталі 03X18N11. Широке застосування сталі 03X19AG3N10, незважаючи на її явні переваги перед сталлю 03X18N11, стримувалося складностями виплавки у відкритих електродугових печах. До останнього часу сталь 03X19AG3N10 виплавлялася на Челябінському металургійному комбінаті (ЧМК) у відкритих електродугових печах з використанням чистих шихтових матеріалів – низьковуглецевого ферохрому ФХ001 і низьковуглецевого азотованого марганцю Мрн6А. При цьому забезпечувався необхідний рівень вмісту вуглецю не більше 0,03 %, що, у свою чергу, гарантував необхідну стійкість проти МКК при випробуванні сталі по ГОСТ 6032-89 (0,5 мм/рік). В останні роки поставка низьковуглецевих феросплавів істотно скоротилася, і у зв'язку із цим більше половини металу, що виготовляється, не витримувало випробувань на стійкість проти МКК через підвищений вміст вуглецю. У сформованій ситуації було ухвалено рішення про виготовлення сталі 03X19AG3N10 із застосуванням спеціальних методів рафінування, що дозволяють при виплавці додатково видаляти вуглець. Із цією метою на заводі «Днепрспецсталь»

почалося освоєння виплавки на установці газокисневого рафінування (ГР), а на ЧМК – у плазмово-тигельних печах (ПТ).

Вперше у вітчизняній практиці сталь 03X19AG3N10 виготовляли у конвекторах з використанням газокисневого обезвуглерожування. Зливки вагою 11,8 т виплавлялися спочатку у відкритій електропечі на звичайній шихті, потім у рідкому вигляді метал передавався у агрегат газокисневого рафінування, де шляхом продування киснем, аргоном і азотом проводилася кінцева доводка металу і забезпечувався необхідний рівень вмісту вуглецю і азоту. Таким чином було виготовлено 2 дослідні плавки 903033 і 903039.

Важливе значення має забезпечення якості і працездатності зварних з'єднань, які регламентує склад металу швів. Існують три основних способи легування азотом металу шва за рахунок переходу його із азотовмісної сталі, що зварюється, зварювальних матеріалів (дріт, флюс, електродне покриття), що містять азот, і газової оболонки дуги. Можливе комбінування зазначених способів легування. Даних про перехід азоту в шов з азотовмісних електродних покриттів і флюсів у літературі немає. Перехід азоту з газової оболонки дуги в наплавлений метал залежить від режиму; зварювання й полярності струму, а також складу газової суміші [1].

Для визначення працездатності зварних з'єднань в умовах тривалої експлуатації, а також з обліком подальших ремонтних операцій, представлялося доцільним дослідження багатопрохідних стикових зварних з'єднань труб, виготовлених у плазмово-тигельних грубах на ЧМК, з листа товщиною 30 і 36 мм, а також зварних з'єднань трубного пучка.

**2. Мета роботи** дослідження властивостей зварних з'єднань, з металу швів з азотом і без нього, зі сталі 03X19AG3N10, виплавленої різними способами рафінування, для заміни сталі 03X18N11 при виготовленні дослідної випарної установки виробництва рідкоземельних елементів.

### 3. Виклад основного матеріалу

Аналіз літературних матеріалів [2–10] дозволяє зробити наступні висновки:

а) легування азотом аустенітних корозійностійких сталей сприяє зміцненню сталі і підвищенню її корозійної стійкості;

б) доцільне розширення застосування хромонікелевих сталей з азотом в устаткуванні, що працює в середовищах виробництв азотної кислоти, паперової, нафтогазової промисловості і т.п.;

г) вплив азоту на механічні і корозійні властивості зварних з'єднань суперечливий, тому потрібне проведення досліджень по вибору зварювальних матеріалів і дослідженню властивостей зварних з'єднань.

Для реалізації поставленої мети у роботі вирішувалися наступні задачі:

- вибір зварювального дроту для аргонодугового зварювання сталі 03X19ГЗН10 двох способів виплавки у плазмово-тигельних печах (ПТ) і на установці газокисневого рафінування (ГФ);

- дослідження мікроструктури, механічних і корозійних властивостей зварних з'єднань;

- дослідження впливу розвальцовки труб у трубній решітці на мікроструктуру зварного з'єднання до і після корозійних випробувань.

Хімічний склад сталей 03X19АГЗН10-ГР, що досліджуються, і ПТ наведений в таблиці 1. Зварні з'єднання листового прокату виконувалися аргоно-дуговим зварюванням, із застосуванням зварювального дроту 01X17Н13М2 і 03X21Н10АГ5 Ø 2 мм (для товстолистового прокату зі сталі 03X19АГЗН10-ГР), а Ø1,5 мм (для зварювання труб з трубною решіткою зі сталі 03X19АГЗН10-ПТ). При цьому оброблення кромки було прийнято Х – образне, кількість проходів 12-14; сила струму 140-150 А, напруга дуги 18-20 В. Зразки з зварного з'єднання для корозійних випробувань виготовляли шляхом зістругування листа з однієї сторони до товщини 5 мм зі збереженням вихідної робочої поверхні.

Допускаючи, що умови нагрівання і охолодження біляшовної зони з'єднання, виконаного дротом із зазначених марок сталі ідентичні, можна також припустити, що корозійні випробування з'єднання зі шва з сталі 01X17H13M2 дозволили виявити наявність або відсутність схильності до міжкристалітної корозії у зоні термічного впливу, не беручи до уваги характер корозії у шві.

**Таблиця 1** – Хімічний склад сталі 03X19АГЗН10

№ плавки і марка сталі	Вміст елементів, %								
	C	N	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
03X19АГЗН 10-ГР									
903033 лист 30 мм	0,025	0,287	2,42	0,15	0,020	0,03	18,9	10,2	0,13
903039 лист 36 мм	0,025	0,298	2,60	0,15	0,013	0,032	19,5	10,3	0,18
03X19АГЗН 10-ПТ									
13 п 9004 лист 6 мм	0,02	0,26	3,0	0,20	0,005	0,013	19,3	10,0	0,07
13 п 9005 лист 6 мм	0,02	0,23	3,10	0,40	0,04	0,011	19,7	10,1	0,06
03X19АГЗН 10-ПТ труби Ø25×2 мм 12 п 4128									
партія 8358	0,025	0,22	2,78	0,20	0,008	0,009	18,7	11,2	–
партія 8434	0,020	0,22	3,39	0,20	0,008	0,009	18,9	10,3	–
12 п4126									
партія 8156	0,036	0,25	3,16	0,27	0,005	0,010	19,5	10,9	–
партія 8390	0,025	0,25	2,57	0,27	0,005	0,010	19,0	10,5	–

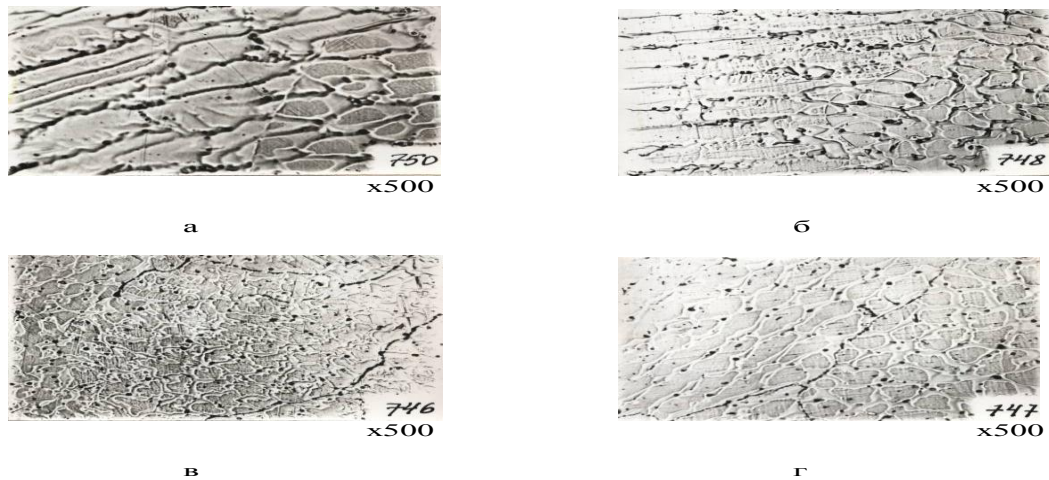
Зразки для механічних випробувань зварних з'єднань листового прокату виготовлені по ГОСТ 6996-66, для корозійних випробувань по методу ДУ і АМУ – відповідно до ГОСТ 6032-89. Попередньо, стійкість зварних з'єднань проти МКК оцінювалася металографічним методом ТЩК. З листових зварних з'єднань були виготовлені плоскі зразки на згин. Оцінка якості комбінованих(труби – сталь ПТ, трубна решітка- сталь ГР) з'єднань труби з трубною решіткою вироблялася металографічно до і після корозійних випробувань у 65%-вій азотній кислоті. Зразки для корозійних випробувань вирізалися з вузла трубної решітки таким чином, щоб можна було визначити

стійкість зварного з'єднання і з боку труби, і трубної дошки. Досліджували механічні і корозійні властивості, структуру зварних з'єднань зі сталі 03X19AG3N10 двох способів рафінування: газокисневе і плазмено-тігельне, виконаних аргонодуговим зварюванням електродними дротами Св-01X17H13M2 і Св-03X21H10AG5.

Аналіз механічних властивостей зварних з'єднань, виконаних аргонодуговим зварюванням показав, що на товстолистовому прокаті із застосуванням дроту Св-03X21H10AG5 на 20-30 МПа нижче міцнісних властивостей основного металу. З шести випробуваних зразків при розтяганні половина порвалася по шву, друга половина – по основному металу. Межа міцності металу шва на сталі – плавки 903039 – 705 МПа; плавки 903033 – 694 МПа. У цьому випадку коефіцієнт рівномірності зварного з'єднання у порівнянні з основним металом для зазначених плавко становить відповідно 0,97 і 0,96. Природно, що для тих зразків, у яких розрив відбувся по основному металі, коефіцієнт рівномірності більше 1, з огляду на те, що  $\sigma_{\text{в}}$  цих зварних з'єднань в обох плавках близько 758 МПа, а  $\sigma_{\text{б}}$  основного металу близько 720 МПа. Коефіцієнт рівномірності зварних з'єднань труб обох плавко приблизно такий, як і в товстолистовому прокаті – 0,95-0,96. Кут загину зварних зразків з товстого листа 160 град; зварні з'єднання труб витримують випробування на сплющування до зіткнення стінок труби без утворення дефектів. Мікроструктура зварних з'єднань труб зі сталі 03X19AG3N 10-ПТ, виконаних за два проходи, – звичайна для низьковуглецевих аустенітних сталей – ні у шві, ні в зоні сплавки, ні в ЗТВ на границях зерен аустеніту труб партії 8456 з найбільшим вмістом вуглецю не виділяються карбіди хрому. Мікроструктура багатопрохідного зварного з'єднання з листом товщиною 30 і 36 мм характеризується чисто аустенітним швом дрібнодисперсним і включеннями на границях дендритів у центральній частині шва; в останніх валиках границі зерен чисті, карбіди хрому не виявлені (рис. 1).

У табл. 2 наведені дані по швидкості корозії зварних з'єднань зі сталі 03X19AG3N 10-ГР плавко 903033 і 903039 і зі сталі 03X19AG3N 10-ПТ плавко

26 і 28, виконаних із застосуванням зварювального дроту зі сталі Св-03Х21Н10АГ5 і Св-01Х17Н13М2 (ЭП551). В обох досліджених плавках товстого листа у шві присутня МКК глибиною до 35 мкм.



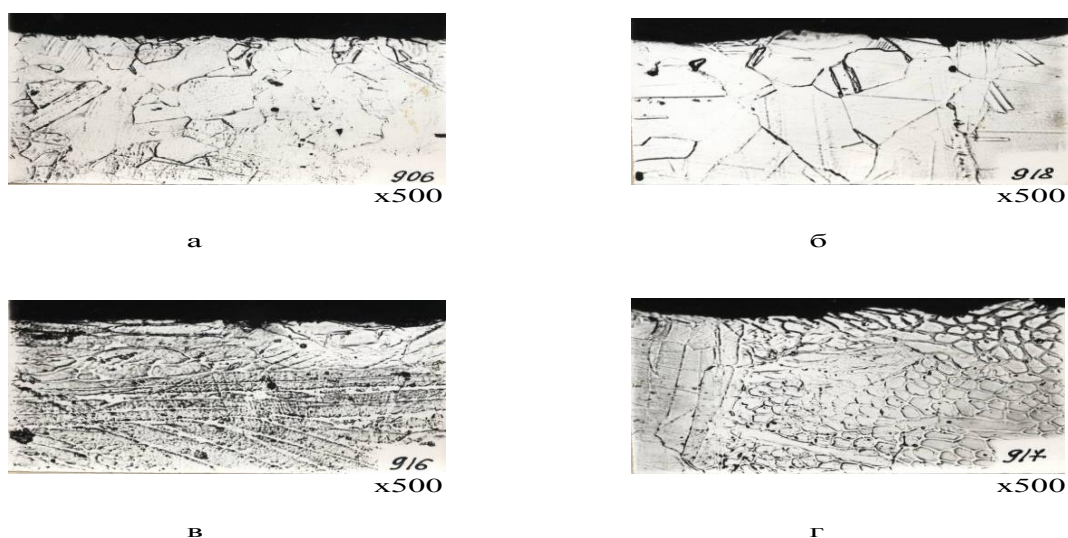
**Рис. 1** – Мікроструктура зварного з'єднання листа сталі 03Х19АГЗН10-ГР, виконаного дротом Св-03Х21Н10АГ5:

а, в – плавка 903039 ( $\delta=36$  мм); б, г - плавка 903033( $\delta=30$  мм);

а, б – карбіди хрому на границях дендритів у центрі шва; в, г – останні валики шва

Корозійні втрати таких зварних з'єднань не перевищують  $0,2 \text{ г/м}^2\text{год}$ , що підтверджує високу стійкість проти МКК зварних з'єднань зі сталі 03Х19АГЗН10–ГР у зоні термічного впливу, найнебезпечнішої для виникнення схильності до МКК. У зоні термічного впливу зварного з'єднання з листа пл.903033 немає МКК, у пл. 903039 з листа великої товщини – невелика корозія глибиною до 20 мкм.

Мікроструктура зварних з'єднань труб зі сталі 03Х19АГЗН10-ПТ, виконаних за 2 проходи, – звичайна для низько вуглецевих аустенітних сталей – ні у шві, ні у зоні сплавлення, ні у ЗТВ на границях зерен аустеніту труб партії 8156 з найбільшим вмістом вуглецю не виділяються карбіди хрому. Металографічні дослідження зразків трубочатки, яка виготовлена з розвальцовкою у області зварного шва і поза нього, показали, що 5 циклів кип'ятіння у 65-вій азотній кислоті не викликають МКК ні у шві, ні у біляшовній зоні (рис. 2).



**Рис. 2** – Мікроструктура комбінованого з'єднання труба-трубна решітка зі сталі 03X19AG3N10 з розвальцьовуванням труби поза швом після 5 циклів випробування в 65%-вій азотній кислоті:

а – шов з боку трубних решіток; б – шов з боку труби; в – ЗТВ із боку трубних решіток; г - ЗТВ із боку труби.

**Таблиця 2** – Швидкість корозії зварних з'єднань листа і труб зі сталі 03X19AG3N10 після випробувань по методу ДУ ГОСТ 6032-89

Марка сталі, № плавки	Швидкість корозії по циклах випробувань, г/м <sup>2</sup> год				
	I	II	III	IV	V
1	2	3	4	5	6
03X19AG3N 10-ГР					
Св - 03X21Н10АГ5					
пл. 903033	0,19	0,23	0,2	0,28	0,32
пл. 903039	0,23	0,3	0,45	0,61	0,69
Св - 01X17Н13М2					
пл. 903033	0,19	0,121	0,154	0,130	—
пл. 903039	0,15	0,142	0,149	0,169	—
03X19AG3N 10-ПТ					
Св - 03X21Н10АГ5					
пл. 26	0,15	0,114	0,051	0,094	—
пл. 28	0,15	0,182	0,048	0,146	—
Св-01X17Н13М2					
Пл.26	0,14	0,121	0,102	0,097	
Пл.28	0,15	0,190	0,161	0,150	

Розвальцювання труб разом зі зварним швом переважніше, так як зварювальний нагрів значно знижує міцнісні властивості у біляшовній зоні і тим самим сприяє більш щільному з'єднанню труби з решіткою.

Сталі 03X19AG3N10-ГР і 03X19AG3N10-ПТ, для виготовлення дослідної камери, що гріє, випарного апарату виробництва рідкоземельних елементів.

## **Висновки**

Досліджені зварні з'єднання сталі 03X19AG3N10, які виплавлені в установці газокисневого рафінування (ГР) заводу «Днепроспецсталь» і плазмово-тигельній печі (ПТ) Челябінського металургійного комбінату. У всіх дослідних плавках сталі вміщення вуглецю не більше 0,03%, а у сталі, яка виплавлена при газокисневому рафінуванні(ГР) вміст азоту знаходиться у межах 0,287-0,298%, а при рафінуванні у плазмово-тигельній печі (ПТ) – 0,22-0,26%. Листовий прокат і труби з дослідних сталей по хімічному складі, механічним, корозійним і технологічним властивостям задовольняють вимогам стандартів на їх поставку. Зварні з'єднання сталі всіх плавки, виконані аргоно-дуговим зварюванням дротом Св-03X21N10AG5 практично рівноміцні основному металу (коефіцієнт міцності 0,96..1,0) і не схильні до міжкристалітної корозії при випробуваннях по методу ДУ ГОСТ 6032-89.

Встановлено, що трубна решітка гріючої камери випарного апарату виробництва рідкоземельних елементів з труб і трубної решітки сталі однієї марки 03X19AG3N10 для забезпечення технологічної міцності і герметичності повинна виготовлятися по типу комбінованого з'єднання: з обварюванням труб і їх розвальцюванням у зоні зварного шва.

На основі результатів досліджень були підготовлені технологічні рекомендації по виготовленню трубного пучка, зварюванню і обробці тиском листа і труб зі сталі 03X19AG3N10-ГР і 03X19AG3N10-ПТ, для виготовлення дослідної гріючої камери випарного апарату виробництва рідкоземельних елементів. Заміна сталі 03X18N11 сталлю 03X19AG3N10 підвищеної міцності



дозволить знизити товщину стінок, що знизить металоємкість камери, що гріє, випарного апарату на 10%.

### **Список використаних джерел:**

1. Королев М. Л. Азот как легирующий элемент в стали / М. Л. Королев. – М.: Metallurgizdat, 1961. – 125 с.
2. Жидков Н. П. Влияние азота на структуру аустенитного металла шва / Н. П. Житков, И. А. Закс // Сварочное производство. – 1971. – № 8. – С. 9–12.
3. Каховский Н. И. Сварка высоколегированных сталей / Н. И. Каховский. – К.: Техника, 1975. – 270 с.
4. Исследование сварных соединений стали 03X19AG3N10 двух способов выплавки для изготовления греющих камер выпарных аппаратов производства редкоземельных элементов: отчет о НИР / УкрНИИХиммаш. – Харьков, 2005. – 72 с.
5. Участие в создании опытной партии листового проката из стали 03X19AG3N10 толщиной 30-50 мм, исследование его свойств и внедрение при изготовлении теплообменного оборудования на заводе «Узбекхиммаш» : отчет о НИР : 922264 / НИИхиммаш. – М., 1999. – 120 с.

*Дерябкіна Є.С.* «Вплив способу рафінування на властивості зварних з'єднань сталі 03X19AG3N10 для трубного пучка випарного апарату».

Досліджені механічні властивості і корозійна стійкість зварних з'єднань листа і труб зі сталі 03X19AG3N10, що виплавлена з різними способами рафінування. Показано, що зварні з'єднання, незалежно від способу рафінування, практично рівномічні основному металу і не схильні до міжкристалітної корозії.

**Ключеві слова:** труба, трубна решітка, рафінування, зварні з'єднання, корозійна стійкість.

*Дерябкина Е.С.* «Влияние способа рафинирования на свойства сварных соединений стали 03X19AG3N10 для трубного пучка выпарного аппарата».

Исследованы механические свойства и коррозионная стойкость сварных соединений листа и труб из стали 03X19AG3N10, выплавленной с различными способами рафинирования. Показано, что сварные соединения, независимо от способа рафинирования, практически равнопрочны основному металлу и не подвержены межкристаллитной коррозии.

**Ключевые слова:** труба, трубная решетка, сварные соединения, рафинирование, коррозионная стойкость.

*Deryabkina E.S.* “The influence of the method of refining the properties of welded joints of steel 03H19AG3N10 for evaporator tube bundle”.

The mechanical properties and corrosion resistance of welded joints of pipes and sheet steel 03H19AGZN10 smelted with different ways of refining. Shown that the welded joints, regardless of the method of refining, almost equal strength of the base metal and not subject to intergranular corrosion.

**Key words:** pipe, tube plate, welded joints, refining, corrosion resistance.

Стаття надійшла до редакції 28 вересня 2012 р.