УДК 621.774:669.018

Металознавчі аспекти одержання високоякісних труб з металу газо-кисневого рафінування

Т.М. Буряк, кандидат технічних наук

ДП « Науково-дослідний трубний інститут ім. Я.Ю. Осади», Дніпропетровськ

Експериментально досліджено вплив способу газо-кисневого рафінування на хімічний склад, структуру і властивості корозійностійкої високолегованої сталі в трубному виробництві. Показано високі якісні показники труб, виготовлених із металу газо-кисневого рафінування з відповідністю вимогам вітчизняних і закордонних нормативних документів.

Для забезпечення виробничого циклу в атомній, тепловій енергетиці, хімічній, харчовій промисловості й інших галузей потрібні труби широкого розмірного сортаменту з високолегованої корозійностійкої сталі. При цьому довговічність трубопроводів і трубних систем багато в чому залежить від якості вихідного металу. Досвід показує, що бнльший ресурс технологічної пластичності й експлуатаційної надійності мають матеріали зі зниженим вмістом включень і шкідливих домішок, однорідною стабільною структурою, високим комплексом механічних властивостей, які формуються протягом всього технологічного циклу. Особливого значення набувають завдання, пов'язані із забезпеченням якісною заготовкою з оптимальним вибором способу виплавки або позапічної обробки. У вітчизняній практиці в технічних умовах на труби відповідального призначення, наприклад, для атомної і теплової енергетики (ТУ 14-3-197, ТУ 14-3-218, ТУ 14-3-219, ТУ 14-3-460 і ін.) обов'язково регламентується спосіб одержання сталі.

Традиційними, найбільш широко використовуваними способами одержання корозійностійких високолегованих сталей і сплавів для вище позначених галузей в СНД залишаються відкрита виплавка в електропечах, вакуумно-індукційна й плазменно-дугова плавка (ВІП, ПДП), електрошлаковий і вакуумно-дуговий переплав (ЕШП, ВДП).

Зазначені способи зумовлюють або значні додаткові енерговитрати, або орієнтовані на багатотоннажні плавки. Останнє не дозволяє мобільно вирішувати питання забезпечення прецизійними сплавами з високою жароміцністю й корозійною стійкістю, потреба в яких, як правило, не буває високою.

Виходячи з вищевикладеного, в Україні розроблено спосіб позапічної обробки газо-кисневим рафінуванням (ГКР). Суть його полягає у виплавці сталі в електропечі з наступною продувкою рідинного напівпродукту різними газовими сумішами в конверторі, наприклад, аргоно-кисневою сумішшю, після чого слідує розливка сталі. Це дозволяє отримувати метал у промислових умовах в ємкостях 5 т і 60 т. Також існує досвід отримання металу в ємкостях 1 т [1, 2]. Крім того, даний спосіб допомагає ефективно вирішувати питання якості готової продукції.

Метою роботи є узагальнення результатів, пов'язаних з одержанням труб з металу ГКР. В якості об'єкту досліджень використано трубну заготовку й труби зі сталі 08Х18Н10Т (аналог по ASTM TP 321) і 03Х17Н14М2 (аналог по ASTM TP 316L), що широко використовуються на енергогенерируючих і хімічних підприємствах (табл. 1). Сталь 08Х18Н10Т було отримано в умовах 60-ти тонного, а сталь 03Х17Н14М3 – в умовах 1 тонного конвертора.

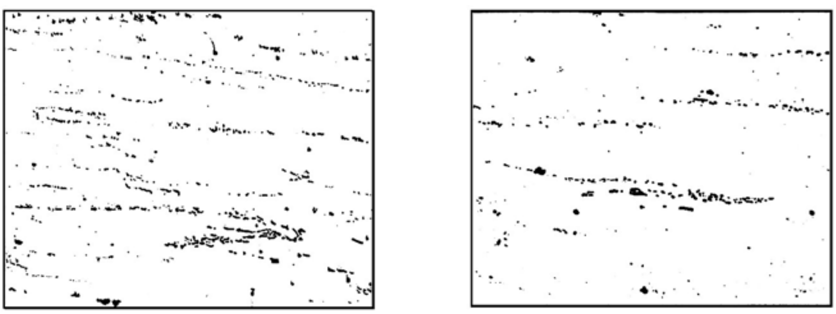
Таблиця 1

Хімічний склад досліджених трубних заготовок зі сталі ГКР (%, мас. частка)

Сталь	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Ti	Mo	Fe
08Х18Н10Т	0,04	0,37	0,87	0,010	0,023	17,73	10,72	0,5	-	основа
08Х18Н10Т	0,04	0,57	0,75	0,010	0,027	17,77	10,10	0,45	-	основа
ГОСТ 5632 (сталь 08Х18Н10Т)	≤0,08	≤0,8	≤1,5	≤0,020	≤0,035	17-19	9-11	5С-0,7	-	основа
03Х17Н14М2	0,013	0,18	0,79	0,0085	0,017	17,8	13,8	-	2,29	основа
ГОСТ 5632 (сталь 03Х17Н14М2)	≤0,030	≤0,4	1,0-2,0	≤0,020	≤0,035	16,8-18,3	13,5-15,0	-	2,2-2,8	основа

Відомо, що одним з основних завдань з підвищення корозійної стійкості виробів і устаткування з високолегованих сталей є зниження вмісту вуглецю й неметалевих включень [4], що насамперед підвищує опір до міжкристалітної і пітингової корозії. Це вигідно відрізняє метал ГКР від інших аналогів і дозволяє досягти концентрацій вуглецю ≤ 0,02 % для хромо-нікелевих сталей і ≤ 0,01 % для низьколегованих сталей [1], табл. 1.

На відміну від металу, виплавленого у відкритій електропечі, в результаті ГКР у 1,5 – 2,0 рази знижується кількість шкідливих домішок і неметалевих включень (рис. 1). При цьому, як показав аналіз їх вміст у сталі 08Х18Н10Т становить (у дужках для порівняння наведені дані щодо металу відкритої електровиплавки): 0,5 – 2,0 бала карбонітридів титану (1,5 – 4,5 бала), ≤ 0,5 бала оксидів (0,5 – 2,0 бала), ≤ 0,5 бала сульфідів (1,0 – 3,0 бала), 0,02 – 0,06 % вуглецю (0,06 – 0,08 %), 0,003 – 0,010 % сірки (0,012 – 0,018 %).



а б

Рис. 1. Неметалеві включення в трубній заготовці сталі 08Х18Н10Т після відкритої виплавки в електропечі (а) і після ГКР (б). х100.

Особливо слід зазначити позитивний ефект, що дає досліджуваний метод щодо десульфурації. Розчинність сірки в металевій матриці звичайно становить ≤ 0,003 % [5]. При більш високих концентраціях сірка, яка є елементом з посиленою ліквацийною дією, утворює негативний окрихчуючий вплив шляхом забруднення границь зерен сульфідною фазою. Зниження вмісту сірки до ≤ 0,08 – 0,010 % особливо актуально для досліджуваних сталей, які експлуатуються в умовах корозійно-агресивних середовищ, підвищених температур і механічних навантажень.

Високолеговані сталі також схильні до ліквацiйної неоднорідності по вуглецю, титану, молібдену, хрому й нікелю, що веде до нерівномірності структури й властивостей, разнозернистості у виробах. В роботах [6, 7] показано, що хімічна й структурна неоднорідність успадковується від трубної заготовки й негативно впливає на якість труб. Тому важливо домагатися гомогенності металу на стадії зливка. Наявність аргону в складі дуття при ГКР забезпечує інтенсивне протікання в конверторній ванні масообмінних процесів, що в свою чергу дозволяє корегувати склад сталі, легованої навіть важкорозчинними елементами, такими, як наприклад, молібден або ніобій [1].

За даними, наведеним у табл. 2, можна зробити висновок про знижений рівень макроліквації в зливку ГКР зі сталі 08Х18Н10Т.

Таблиця 2

Хімічний склад за перетином зливка ГКР масою 3,5 т зі сталі 08Х18Н10Т (%, мас. частка)

Місце відбору	Хімічні елементи (%, мас. частка)							
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Ti
зовнішня поверхня	0,038	0,59	0,79	0,008	0,025	17,49	10,06	0,60
перехідна зона	0,038	0,53	0,73	0,008	0,024	17,49	10,09	0,53
центр	0,038	0,56	0,76	0,013	0,029	18,35	10,92	0,52

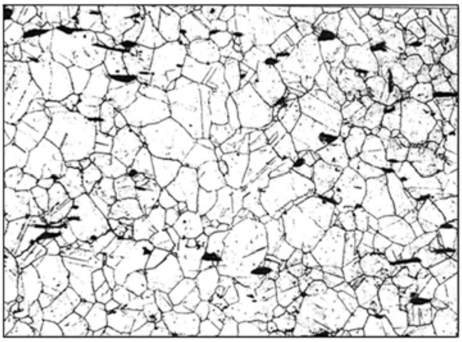
Результати масштабних експериментів, виконаних у промислових і напівпромислових умовах заводів України (ДП ДЗПТ, ВАТ НТЗ, ЗАТ СЕНТРАВІС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН), які включали стадії від одержання заготовки до готових труб, показали доцільність використання сталі ГКР для виробництва труб спеціального призначення [8], що відповідають вимогам спеціальних технічних умов із грифом «для АЕС», вітчизняних і закордонних стандартів. Отримано труби різних типорозмірів зі сталі 08Х18Н10Т і 03Х17Н14М2 (табл. 3) з високим комплексом показників міцності

Таблиця 3

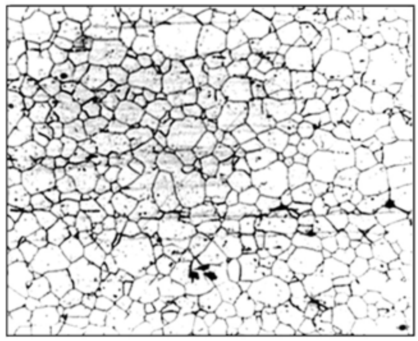
Якісні показники труб з корозійностійкої високолегованої сталі ГКР у порівнянні з нормативними вимогами

Марка сталі	Розмір (діаметр, товщина), мм	Вміст елементів, % (мас. частка)		Механічні властивості		Величина зерна (номер)	МКК
		C	S	σ_B , Н/мм^2	δ_5 , %		
08Х18Н10Т	325×16	0,04	0,01	568 – 578	65 – 69	7 – 8	стійкі
	325×16	0,04	0,01	568 – 578	79	6 – 7	те саме
	159×6	0,05	0,005	549 – 559	50 – 51	–	те саме
ГОСТ 9940-81		≤0,08	≤0,020	≥510	≥40	–	–
ГОСТ 24030-80		≤0,08	≤0,020	≥549	≥37	не крупніше № 4	стійкі
ТУ 14-3-197-89, ТУ14-3р-197-2001		≤0,08	≤0,020	≥549	≥37	не крупніше № 4	стійкі
03Х17Н14М2	78×8	0,013	0,0085	568 – 575	60 – 63	–	стійкі
	32×6	0,013	0,0085	539 – 549	58 – 59	7 – 8	те саме
	12×1	0,013	0,0085	573 – 598	48,5 – 53,0	9 – 10	те саме
ASTM A213/A213M-04b (для сталі TP 316L)		≤0,035	≤0,030	≥485	≥35	–	стійкі

і пластичності, однорідною структурою в повністю рекристалізованому стані (рис. 2), стійкі до міжкристалітної корозії (МКК). На високий рівень якості труб, як зазначено вище, позитивно впливає гомогенність металу зі зниженням вмісту включень і шкідливих домішок.



а



б

Рис. 2. Мікроструктура труб з металу ГКР. Ч 100. а – труба діаметром 325 мм, товщиною 16 мм, сталь 08Х18Н10Т, б – труба діаметром 32 мм, толщиною 6 мм, сталь 03Х17Н14М2.

Це дало підставу використовувати метал ГКР для виготовлення труб відповідального призначення.

Висновки Гаряче- і холоднодеформовані труби широкого розмірного сортаменту (діаметром від 12 до 325 мм) зі сталі 08Х18Н10Т (ТР 321) і 03Х17Н14М2 (ТР 316L) після ГКР характеризуються чистотою металу, високими показниками структури і властивостей відповідно нормативним вимогам (ГОСТ 9940, ГОСТ 24030, ТУ 14-3-197, ASTM A213 та ін.).

У зв'язку з наявним позитивним досвідом вперше у вітчизняній практиці в нову версію міждержавних технічних умов ТУ 14-3-197:2006 «Труби безшовні з корозійностійких марок сталі з підвищеною якістю поверхні» внесено спосіб ГКР для отримання металу при виготовленні труб для ядерних енергетичних установок.

Рекомендовано розширювати використання металу ГКР для високоякісних труб з високолегованих корозійностійких і жароміцних марок сталі й сплавів, зокрема для атомної, теплової енергетики, авіації, харчової, хімічної промисловості й інших галузей.

Література

1. Садовник Ю.В., Рабинович А.В., Нефёдов Ю.А. Новое направление внепечного рафинирования в литейном производстве // Матер. Междунар. конф. «Специальная металлургия: вчера, сегодня, завтра». – Киев, 2002. – С. 295 – 297.
2. Садовник Ю.В. Газокислородное рафинирование – одно из приоритетных направлений развития конверторных процессов // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2008. – № 3. – С. 22 – 24.
3. Сесарелли М., Сантучи Р, Бенанни А. Механические свойства коррозионностойкой стали 316L с добавками бора и азота при высоких температурах // Высокотемпературные механические свойства коррозионностойкой стали для атомной техники. – М.: Металлургия, 1987. – С. 78 – 83.
4. Ульянин Е.А. Коррозионностойкие стали и сплавы. – М.: Металлургия, 1991.– 256 с.
5. Лунёв В.В., Аверин В.В. Сера и фосфор в стали. – М.: Металлургия, 1988. – 257 с.

6. Буряк Т.Н., Вахрушева В.С., Лезинская Е.Я. Формирование структуры и свойств в горячедеформированных трубах из коррозионностойкой стали для энергомашиностроения // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2003. – № 1. – С. 60 – 63.
7. Буряк Т.Н. Формирование структуры и свойств стали 03Х17Н14М2 при производстве труб // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2005. – № 6. – С. 51 – 54.
8. Буряк Т.Н. Опыт применения стали газокислородного рафинирования при изготовлении труб специального назначения // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2005. – № 2.– С. 52 – 54.

Одержано 27.07.09

Т.Н. Буряк

Металловедческие аспекты получения высококачественных труб из металла газо-кислородного рафинирования

Резюме

Экспериментально исследовано влияние способа газо-кислородного рафинирования на химический состав, структуру и свойства коррозионностойкой высоколегированной стали в трубном производстве. Показаны высокие качественные показатели труб, изготовленных из металла газо-кислородного рафинирования с их соответствием требованиям отечественных и зарубежных нормативных документов.

T.N. Buryak

Physicometallurgical aspects of obtaining high-quality tubes from the metal of gas-oxygen affinage

Summary

Influence of method of gas-oxygen affinage on chemical composition, structure and properties of the wear resistant high-alloyed steel for tube production is experimentally investigated. The high quality indexes of tubes, made from the metal of gas-oxygen affinage conforming to the requirements of domestic and foreign normative documents are shown.