

Вплив технологічних чинників на формування якісних показників прецизійних труб

Т. М. Буряк, кандидат технічних наук

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

Досліджено вплив технологій термічної, хіміко-технологічної, абразивної обробки на якість поверхні і корозійну тривкість прецизійних труб з корозійностійкої сталі. Показано, для найбільш відповідального призначення слід віддавати перевагу трубам після електрохімічного полірування поверхні або після термічної обробки в неокислювальній атмосфері.

В аерокосмічному і атомно-енергетичному комплексі для систем, найбільш важливих для безпеки, використовуються прецизійні труби з високолегованої корозійностійкої сталі. Окремі види найбільш відповідальних труб виготовляють у відповідності з ГОСТ 10498 «Труби безшовні особливотонкостінні з корозійностійкої сталі» і ТУ 14-3-219 «Труби безшовні особливотонкостінні з корозійностійких сталей аустенітного класу» з грифом «для АЕС». Серед діючих нормативних документів, цей документ відрізняється надвисокими вимогами, бо розповсюджується на реакторні труби, як, наприклад, оболонки поглинаючих елементів (ПЕЛ). Труби повинні мати комплекс взаємопов'язаних показників: регламентовані величина зерна і механічні властивості, тривкість до міжкристалітної корозії (МКК), чистота щодо неметалевих включень, якість поверхні та ін. (таблиця). У виробничих умовах повне забезпечення якості подібних труб є доволі складною задачею [1].

Метою даної роботи було вивчення впливу різноманітних технологічних чинників на формування контрольованих критеріїв якості у трубах-оболонках ПЕЛ і вибір оптимальних способів їх обробки. Матеріалом дослідження були труби розміром $\varnothing 8,2 \times 0,6$ мм зі сталі 06X18N10T і 08X18N10T, виготовлені за ТУ 14-3-219 і ГОСТ 10498 (таблиця).

Відомо, що стан поверхні і мікроструктура, в багатьох випадках є визначальними в експлуатаційній надійності даного виду труб, бо впливають як на корозійну тривкість, так і на технологію пластичність [2 – 4]. У зв'язку із цим, досліджено якість внутрішньої (робочої) поверхні, величину зерна і схильність до МКК у трубах $\varnothing 8,2 \times 0,6 \times 4200$ мм, оброблених за такими варіантами:

1 – термічна обробка на електроконтактній установці, хімічна обробка для видалення огару (окаліни) з наступним поліруванням дисперсним абразивом (подрібненим піском);

2 – термічна обробка на електроконтактній установці з наступним хімічним травлінням для видалення окаліни;

3 – термічна обробка на електроконтактній установці, хімічна обробка для видалення окаліни з наступним електрохімічним поліруванням;

4 – термічна обробка у вакуумній печі, якій передувало очищення і ремонт поверхні труб способами спочатку хімічної, а потім піскоструйної обробки;

5 – термічна обробка у вакуумній печі з попередньою хімічною обробкою.

Технічна інформація

Основні технічні вимоги до тонкостінних труб

Стандарт, марка сталі	Межа міцності σ_b , Н/мм ²	Відносне видовження δ_5 , %	Величина зерна, номер	Схильність до МКК	Вимоги до обробки внутрішньої поверхні
ГОСТ 10498, 06X18H10T, 08X18H10T	Не менше 529	Не менше 40	Не крупніше № 7, допускається до 30 % труб з № 6	Повинні бути стійкими до МКК	Хімічне травлення, за вимогою – електрохімічне полірування, допускається після термічної обробки в неокислювальній атмосфері
ТУ 14-3-219, 06X18H10T	Не менше 529	Не менше 40	№ 7 – 10, допускається до 25 % труб з № 6	Повинні бути стійкими до МКК	Електрохімічне полірування, допускається після хімічного травлення або термічної обробки в неокислювальній атмосфері

Примітка: В металі готових особливотонкостінних труб контролюються неметалеві включення, вміст яких не повинен перевищувати 2 бали

Стан поверхні досліджували шляхом аналізу зображень криволінійних поверхонь, отриманих за допомогою растрового електронного мікроскопу РЕМ 106І і вимірювання шорсткості поверхні R_a на приладі Талісборф. Величину зерна визначали згідно з ГОСТ 5639 на структурному аналізаторі Аксіоверт 200МАТ з програмним забезпеченням для кількісної металографії. Випробування на МКК здійснювали за методом АМ по ГОСТ 6039 на 5-ти зразках від партії. Також виконано ультразвуковий контроль труб та інші випробування в межах вимог стандартів. Результати показали наступне.

За хімічним складом, неметалевим включенням і механічним властивостям, метал відповідав встановленим нормам.

Найнижчий параметр R_a спостерігається на внутрішній поверхні труб, підданих електрохімічному поліруванню (варіант 3), а найвищий – після піскоструменевої обробки (варіант 1). Зіставлені значення шорсткості поверхні в залежності від способу обробки приведено на рис. 1.

Візуальний огляд підтвердив, що згідно вимогам нормативних документів зовні усі труби були зі світлою поверхнею без явних особливих дефектів. Однак за допомогою РЕМ встановлено, по-перше, що

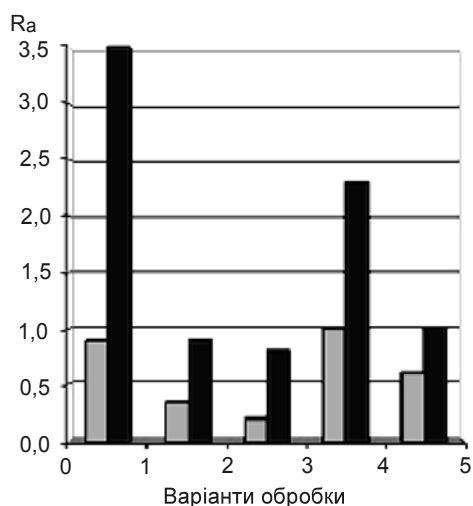


Рис. 1. Параметр шорсткості R_a внутрішньої поверхні труб в залежності від варіанту обробки. ■ – мінімальні значення, ■ – максимальні значення.

топографія поверхні суттєво залежить від способу обробки і пов'язана зі структурою металу, а по-друге, на поверхні мають місце мікроскопічні дефекти (рис. 2), які не завжди можна ідентифікувати за допомогою світлової мікроскопії чи ультразвукової дефектоскопії.

Після піскоструменевої обробки в трубах, оброблених за варіантом 1 (рис. 2 а), поверхня матова, достатньо груба і неоднорідна з нерівностями, які є наслідком дії абразиву. При випробуваннях на МКК спостерігалися випадки браку з утворенням тріщин на досліджених зразках. Крім того, підвищений рівень шорсткості внутрішньої поверхні труб не забезпечує потрібної щільності при внесенні в оболонку ПЕЛ спеціального наповнювача у вигляді стрижнів, пігулок чи порошку (поглинаючого елементу, наприклад, карбиду бору).

Після хімічного травлення труб (варіант 2) поверхня також матова, на ній спостерігається рельєф, що сформувався за рахунок хімічного руйнування поверхневого шару металу під дією хіміко-технологічної обробки, а саме виявлення границь зерен в результаті травлення (рис. 2 б). В трубах, оброблених за такою технологією, можуть спостерігатися залишки жаровини (рис. 2 в) чи розтрави по границях зерен, які приводять до появи в окремих зразках вибіркової схильності до МКК.

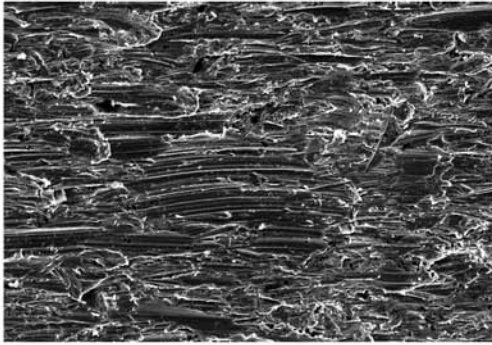
Після електрохімічного полірування (варіант 3) поверхня труб блискуча, достатньо однорідна, на ній видно границі зерен (рис. 2 г), неметалеві включення або сліди від них (рис. 2 д). Формується найнижчий параметр шорсткості R_a . Браку по МКК в дослідженому масиві даних з 10-ти партій виявлено не було.

Після відпалу труб у вакуумі з попередньою піскоструменевою обробкою (варіант 4), поверхня має неоднорідний рельєф (рис. 2 е) і доволі високий для прецизійних труб параметр R_a . Проте завдяки застосованим заходам для зняття забрудненого або пошкодженого шару з поверхні і наступного вакуумування для видалення окисленого чи науглецьованого на попередніх стадіях шару, браку по МКК виявлено не було.

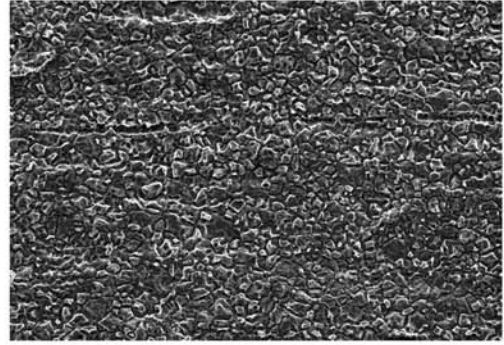
В результаті відпалу труб у вакуумі (варіант 5) усі досліджені зразки (12 партій) витримали випробування на МКК. Однак поверхня труб має трохи збільшений у порівнянні з варіантами 2 і 3 (після хімічного травлення та електрохімічного полірування) рівень шорсткості, що зумовлено «розкриттям» границь зерен у вакуумі (рис. 2 ж). Як один з оптимальних варіантів для отримання якісних труб, доцільно термічну обробку здійснювати в захисній атмосфері (водні, аргоні).

Майже на всіх зразках спостерігались мікроскопічні дефекти трубопрокатного походження глибиною від 1 мкм до 3 мкм, що входить у допустимі стандартами межі. Ці дефекти не впливають на контрольовані властивості труб, але згодом можуть погіршити їх експлуатаційну надійність. Відомо, що окрім тривкості до МКК, стан поверхні здійснює суттєвий вплив на опір до пітингової корозії і, чим якісніша поверхня, тим менше небезпека утворення пітингів. У глибині дефектів (мікротріщин, неглибоких рисок, плен, закратів та ін.) можуть знаходитись недосяжні для видалення залишки агресивних продуктів технологічних операцій. Це можуть бути залишки вуглецю (наслідок термічної обробки в окислювальній атмосфері чи прокатки на графітових мастилах) або хлору (наслідок прокатки на хлор-парафінових мастилах чи травлення у розчині азотно-плавикових кислот), які ініціюють розвиток міжкристалітної та пітингової корозії відповідно. Найменше мікроскопічних дефектів спостерігалось на трубах після електрохімічного полірування. У зв'язку із цим додатково до переліченого вище слід відзначити, що операції термічної обробки в неокислювальній атмосфері та електрохімічного полірування є найбільш прийнятними для даного виду труб.

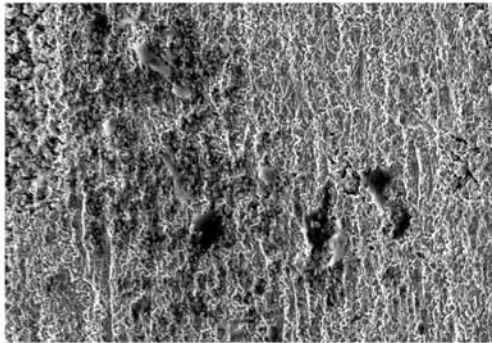
Незалежно від умов термічної обробки (електроконтактна чи вакуумна) в металі досліджених труб формується дисперсна рекристалізована структура з величиною зерна від № 8 до № 10 (рис. 3).



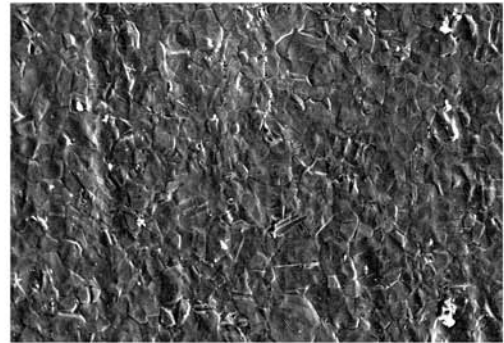
а



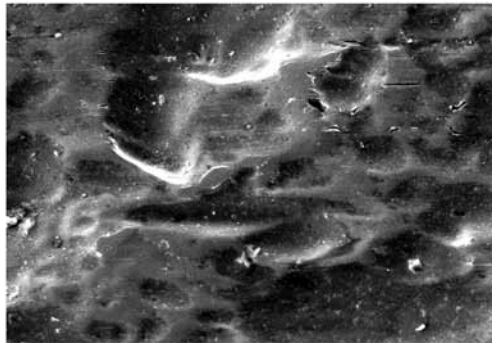
б



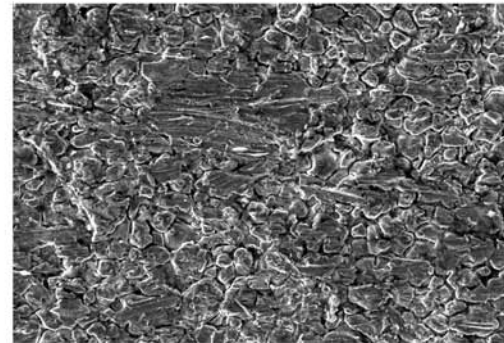
в



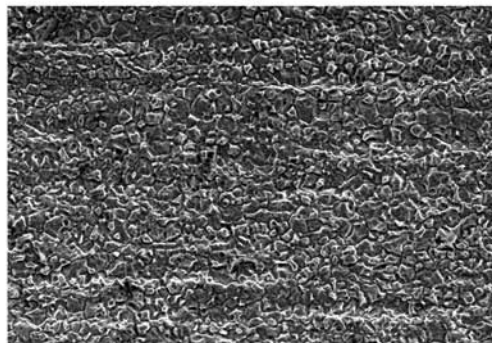
г



д



е



ж

Рис. 2. Топографія внутрішньої поверхні в залежності від варіанту обробки труб. а – варіант 1 ($R_a = 1,93$ мкм), б – варіант 2 ($R_a = 0,42$ мкм), в – варіант 2 ($R_a = 0,76$ мкм), г – варіант 3 ($R_a = 0,28$ мкм), д – варіант 3 ($R_a = 0,77$ мкм); е – варіант 4 ($R_a = 1,31$ мкм), ж – варіант 5 ($R_a = 0,65$ мкм). РЕМ, $\times 250$.

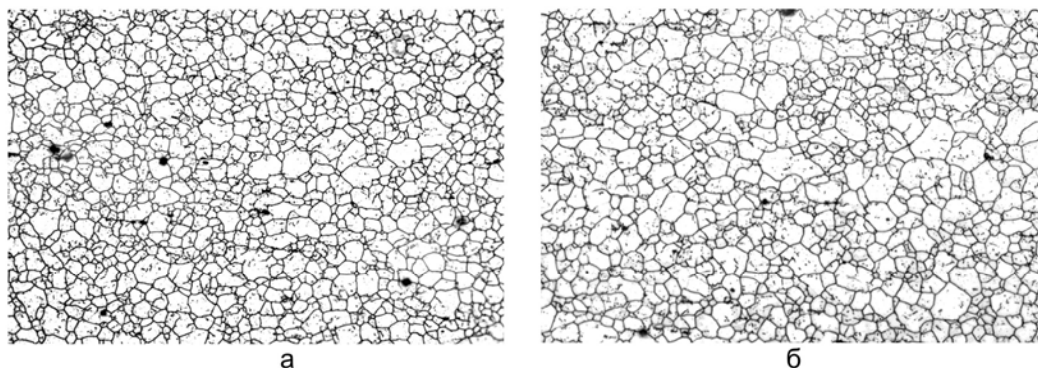


Рис. 3. Мікроструктура труб, термічно оброблених на електроконтактній установці (а) і у вакуумній печі (б). $\times 100$.

Менший розмір зерна спостерігається в трубах після прискороного нагріву на електроконтактній установці. Дрібне однорідне зерно також сприяє стійкості металу труб до МКК при одночасному збільшенні межі міцності і задовільному рівні пластичності. Рівень механічних властивостей в досліджених зразках складає:

$$\sigma_b = 629 - 698 \text{ Н/мм}^2, \delta_5 = 46 - 60 \text{ \%}.$$

За іншими показниками (механічні властивості при розтягу, технологічні випробування на сплющення, контроль неметалевих включень, ультразвукова дефектоскопія та ін.) усі труби відповідали стандартам.

Висновки Досліджено вплив різноманітних видів термічної, хіміко-технологічної, абразивної обробки на якість прецизійних труб з корозійностійкої сталі. Відпрацьовано технології отримання труб з поліпшеними властивостями.

Застосований комплексний підхід з оцінкою шорсткості і топографії поверхні, мікроструктури, схильності до МКК та інших показників труб, оброблених за різними варіантами, підтвердив, що забрудненість і підвищена шорсткість поверхні труб внаслідок термічної обробки в окислювальній атмосфері з наступним невдалим травленням чи піскоструйною обробкою знижують корозійну тривкість металу.

Доведено, що для найбільш відповідального призначення доцільно використовувати труби після електрохімічного полірування або після термічної обробки в неокислювальній атмосфері. Отримані за такими технологіями труби-оболонки ПЕЛ $\varnothing 8,2 \times 0,6$ мм зі сталі (06 – 08)X18H10T повністю задовольняють вимогам нормативних документів і потребам споживачів.

Література

1. Вахрушева В.С., Буряк Т.Н., Лезинская Е.Я. Управление структурой и свойствами труб специального назначения из коррозионностойких марок стали. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2006. – № 4. – С. 85 – 89.
2. Ульянов Е.А. Коррозионностойкие стали и сплавы. – М.: *Металлургия*, 1991. – 256 с.
3. Серебряков А.Н., Шулин Е.Л., Серебряков А.В. Влияние качества поверхности канала труб на стойкость против межкристаллитной коррозии. // *Металлург*. – 2004. – № 11. – С. 53 – 55.
4. Буряк Т.Н., Вахрушева В.С., Тараненко А.А. Формирование качественной поверхности труб из коррозионностойких сталей и сплавов. // *Сталь*. – 2009. – № 8. – С. 57 – 60.

Одержано 20.09.11

Т. Н. Буряк

Влияние технологических факторов на формирование качественных показателей прецизионных труб

Резюме

Исследовано влияние технологий термической, химико-технологической, абразивной обработки на качество поверхности и коррозионную стойкость прецизионных труб из коррозионностойкой стали. Показано, что для наиболее ответственного назначения следует отдавать предпочтение трубам после электрохимической полировки поверхности или после термической обработки в безокислительной атмосфере.

T. N. Buryak

Influence of technological factors on forming of high-quality indexes of precision tubes

Summary

Influence of different technologies of heat, chemical-technological, abrasive treatment on the quality of surface and corrosion resistance of precision tubes from stanlees steel. It is shown that for the most responsible tubes it is necessary to provide the electrochemical polishing of surface or heat treatment in a non oxygen atmosphere.

УДК 669.018.95:539.4.015:665.3:621.762.5

Структура та властивості евтектичного композиту $B_4C - TiB_2$, одержаного електророзрядним спіканням

П. І. Лобода, доктор технічних наук, професор

Ю. І. Богомол, кандидат технічних наук

М. В. Марич

Національний технічний університет України «КПІ», Київ

Показано, що оптимальна структура евтектичного композиту з утворенням по границях зерен вторинної евтектики досягається при температурі електророзрядного спікання 1800 °С. Дослідження механічних властивостей показали, що міцність на згин при кімнатній температурі спеченого евтектичного сплаву $B_4C - TiB_2$ складає 230 МПа і децю перевищує міцність спрямовано закристалізованих евтектичних сплавів такого ж складу.

Матеріали на основі карбіду бору починають все більше застосовуватись у промисловості завдяки унікальному комплексу фізико-механічних властивостей. Завдяки специфічній конфігурації зв'язків у кристалічній структурі, яка повторює конфігурацію чистого бору і є подібною до полімерної, B_4C має високі значення міцності хімічного зв'язку, і, як наслідок, високу твердість, модулі пружності і