

Вплив технологічних чинників на структуру та експлуатаційні властивості котельних гарячепресованих труб

Л. В. Опришко

ДП «НДТІ» ім. Я. Ю. Осади, Дніпропетровськ

Досліджено вплив коефіцієнта витягування та термічного оброблення на структуру, жароміцність, схильність до механічного старіння, холодостійкість вуглецевих котельних труб, відпресованих з безперервнолитого зливка. Розроблено економічну технологію виробництва таких труб відповідно до сортаменту.

В останні десятиліття для виробництва труб відповідального призначення, зокрема котельних, замість катаної або кованої трубної заготовки використовують безперервнолиту заготовку. Таку технологію впроваджено на ВАТ трубний завод «Волзький» (ВАТ «ВТЗ») [1, 2]. Завод виготовляє способом гарячого пресування з безперервнолитої заготовки власного виробництва вуглецевої і низьколегованої сталей труби діаметрів 42 – 219 мм з товщиною стінок 3,5 – 30 мм за ТУ 14-3-460 [3]. Нормативна документація на виробництво таких труб з котельної сталі 20 передбачає обов'язкову нормалізацію їх з окремого нагрівання, тоді як труби, виготовлені з кованої (катаної) заготовки, дозволено поставляти після гарячого деформування. Вдосконалення технології виплавлення і безперервного розливання сталі на ВАТ «ВТЗ» і великий досвід промислового виробництва на цьому заводі котельних гарячепресованих труб з безперервнолитої заготовки дозволяють оптимізувати технологію і переглянути цю вимогу.

Метою роботи є дослідження впливу коефіцієнта витягування при пресуванні, а також термічного оброблення відпресованих з безперервнолитої заготовки сталі 20 котельних труб на їхню структуру і експлуатаційні властивості.

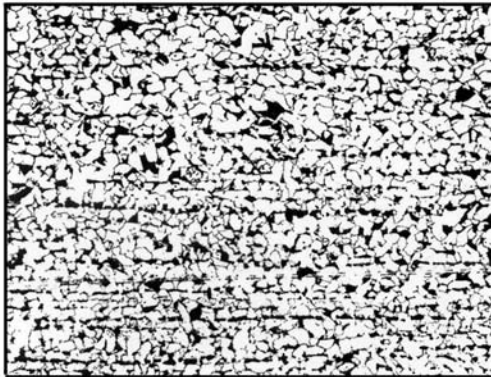
Матеріал дослідження – котельні труби розмірів 219х(9 – 26) мм і 168х(22 – 30) мм у двох станах: після гарячого пресування і після нормалізації з окремого нагрівання. В умовах ВАТ «ВТЗ» на пресовій лінії зусиллям 55 МН труби виготовлені з недеформованої безперервнолитої заготовки діаметром 350 мм власного виробництва з коефіцієнтом витягування μ у діапазоні від 6,1 до 16,2.

Мікроструктуру труб вивчали на світловому мікроскопі «Neophot-21». Величину феритного зерна оцінювали методом порівняння з еталонами шкал ГОСТ 5639, смугастість і орієнтацію фериту за відманштеттом – з еталонами шкал 1 і 2 Додатку Б до ТУ 14-3-460. Випробування на тривалу міцність проводили за ГОСТ 10145 при 450 °С – максимальній робочій температурі для вуглецевих котельних труб. Схильність металу труб до механічного старіння оцінювали за ГОСТ 7268 випробуванням на ударний вигин зразків типу Менаже. Визначили усереднений показник схильності С, а за методикою Додатку до ГОСТ 4543 – частку в'язкої складової в зламі зістарених зразків.

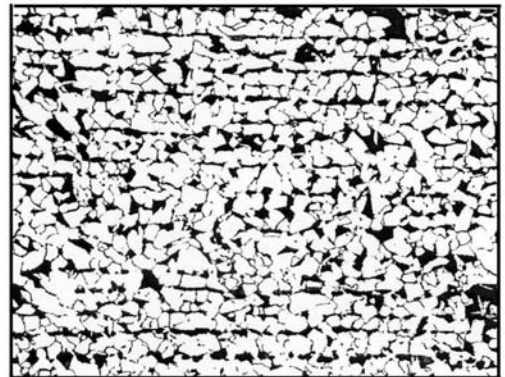
Холодостійкість металу труб за умовного порогу холодоламкості оцінювали випробуванням на ударний вигин зразків типу Менаже та Шарпі в інтервалі температур від 20 до -60 °С з визначенням частки в'язкої складової в зламі.

Хімічний склад металу труб всіх досліджених плавок відповідав вимогам ТУ 14-3-460. Короточасні механічні властивості за кімнатної й підвищених (250, 400, 450 °С) температур, а також технологічні властивості металу труб всіх досліджених типорозмірів і станів повністю відповідали вимогам технічних умов.

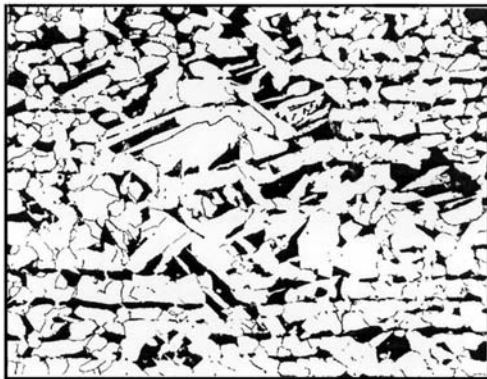
Мікроструктура металу труб у стані після пресування з високим коефіцієнтом витягування $\mu > 10$ – ферито-перлітна (величина зерна фериту 8 номер) і однорідна за товщиною стінки (рис. 1 а, б). Це свідчить про переробку первинної литої структури заготовки і повне завершення рекристалізації [4].



а



б



в

Рис. 1. Мікроструктура металу труб діаметром 219 мм після гарячого пресування в залежності від коефіцієнта витягування. а – $\mu = 16,2$, б – $\mu = 12,3$, в – $\mu = 6,3$. $\times 100$.

Метал труб, виготовлених з коефіцієнтом витягування $\mu < 10$, характеризується більшим зерном (6 і 7 номер) і структурною неоднорідністю, ступінь якої збільшується зі зменшенням коефіцієнта витягування (рис. 1 в). У мікроструктурі цих труб виявлено ділянки грубозернистої (номер 5 і більше) структури з елементами орієнтації фериту за відманштеттом. Така структурна неоднорідність успадковується від безперервнолитого зливка й під час пресування труб з коефіцієнтом витягування $\mu < 10$, як правило, повністю не усувається. Особливо це стосується труб, виготовлених з безперервнолитого зливка з розвиненою зоною стовпчастих кристалів (зона транскристалізації) і значною дендритною ліквациєю [5].

Нормалізація подрібнює зерно на 1 – 2 номери і збільшує однорідність структури металу труб (рис. 2).

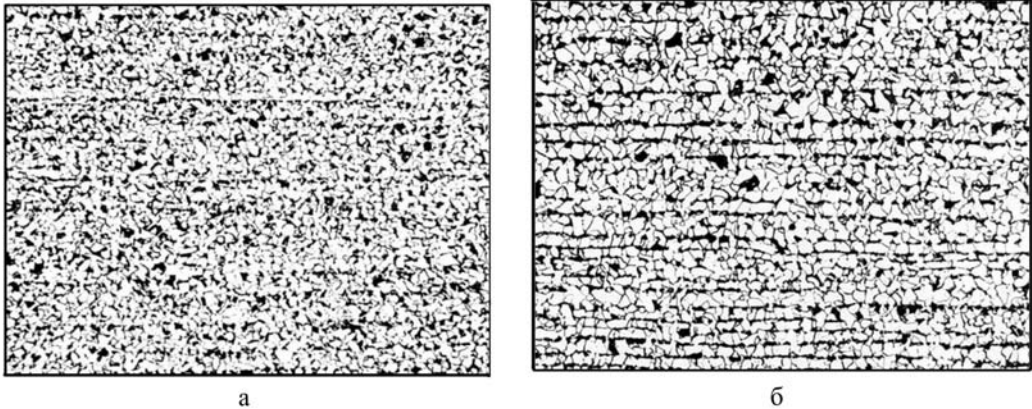


Рис. 2. Мікроструктура металу труб діаметром 219 мм після нормалізації. а – $\mu = 16,2$, б – $\mu = 7,7$. $\times 100$.

Мікроструктура металу всіх досліджених труб, як після гарячого пресування, так і після нормалізації з окремого нагріву, щодо смугастості і ступеню орієнтації за відманштеттом (нормовані ТУ 14-3-460 показники), задовольняє вимоги технічних умов.

Значення межі тривалої міцності за 10^5 годин за температури $450\text{ }^\circ\text{C}$ металу труб дослідженого сортаменту після гарячого пресування і нормалізації відповідають нормі ТУ 14-3-460. Вищі значення межі тривалої міцності має метал у стані після гарячого пресування. Із зменшенням коефіцієнта витягування значення цієї характеристики, як правило, знижується. Проте метал гарячепресованих труб, виготовлених з коефіцієнтом витягування менше за 10 із заготовки з грубою кристалічною будовою, з розвиненою зоною транскристалізації, має нижчу деформаційну здатність (рівень тривалої пластичності), що грає важливу роль в забезпеченні надійності труб в експлуатації [6]. У разі використання заготовки, в макроструктурі якої розвинена зона рівноосних і обмежена зона стовпчастих кристалів, труби, в тому числі й ті, що пресовані з малим коефіцієнтом витягування, мають задовільний комплекс міцності і пластичності при тривалому навантаженні.

Нормалізація, подрібнюючи зерно і підвищуючи однорідність структури, призводить до зниження на $15 - 20\text{ Н/мм}^2$ значень межі тривалої міцності і підвищення тривалої пластичності у $1,5 - 2,0$ рази. В той же час труби, виготовлені з коефіцієнтами витягування $\mu > 10$, з дрібнозернистою і однорідною структурою піддавати нормалізації з окремого нагрівання недоцільно, оскільки подальше подрібнення зерна (дрібніше за 8 номер) обумовлює зниження тривалої міцності [7].

Аналіз результатів випробування на ударну в'язкість зразків перед механічним старінням і після нього показав, що метал труб у стані після пресування має схильність до механічного старіння ($S = 37 - 49\%$), особливо за малого коефіцієнта витягування. Хоча рівень ударної в'язкості зістарених зразків всього дослідженого сортаменту задовольняє вимоги Правил Котлонагляду (не менше 30 Дж/см^2), частка в'язкої складової в зламі цих зразків в більшості випадків менше, ніж 50% , і з пониженням ступеня деформації зменшується до 17% . Такі труби небажано використовувати у виготовленні фасонних виробів (згинів, колін) холодним формозміненням без подальшого відновного термічного оброблення.

Нормалізація труб з окремого нагрівання призводить до зниження схильності їх до механічного старіння і забезпечує частку в'язкої складової в зламі зразків після старіння не менше, ніж 50% .

Метал труб всього дослідженого сортаменту, як в гарячепресованому, так і в нормалізованому стані, має задовільну холодостійкість, що відповідає вимогам. Ці труби можуть бути використані в районах з холодним кліматом за температури нижче 0 °С. За умовний поріг холодоламкості прийняті температури, за яких величина ударної в'язкості на зразках Менаже та Шарпі не менша за мінімально допустимі значення (30 і 25 Дж/см² відповідно). Для труб у стані після гарячого пресування умовний поріг холодоламкості знаходиться в інтервалі температур від мінус 55 до мінус 60 °С і від мінус 20 до мінус 35 °С у разі випробування на зразках Менаже і Шарпі відповідно (рис. 3). Нормалізація зменшує схильність до окрихчення металу труб і зміщує поріг холодоламкості в область більш низьких температур.

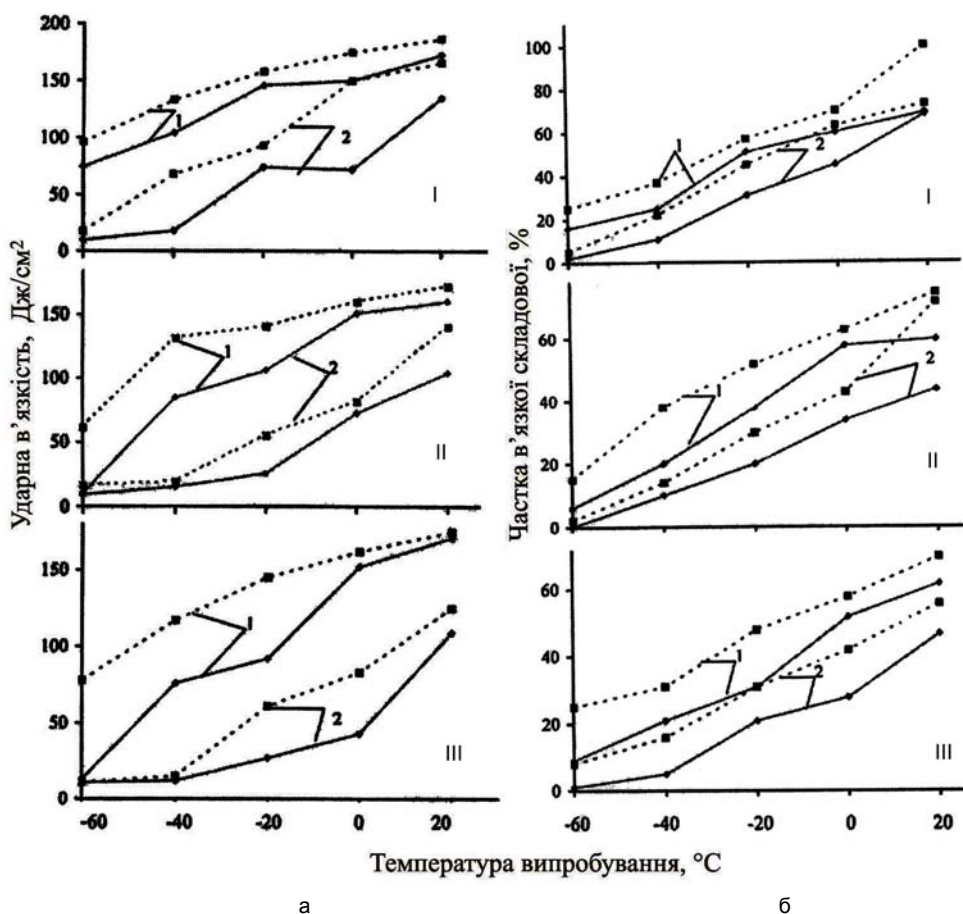


Рис. 3. Температурна залежність ударної в'язкості (а) та частки в'язкої складової (б) у зламі зразків від стану труби. — — після гарячого пресування, - - - після нормалізації. 1 – зразки Менаже, 2 – зразки Шарпі. Розмір труб: I – 219 x 9 мм, II – 219 x 13 мм, III – 219 x 26 мм.

Таким чином, отримані результати досліджень показали принципову можливість виключення з діючої технології виготовлення труб зі сталі 20, що пресують з безперервнолітої заготовки з коефіцієнтом витягування більше 10, операції нормалізації з окремого нагрівання. Впровадження такої економічної технології дозволить значно скоротити енерговитрати і знизити собівартість котельних труб.

Література

1. Кириченко В.В., Опрышко Л.В., Кузнецов В.Ю. Использование непрерывнолитых заготовок при производстве котельных труб // Сталь. – 1999. – № 12. – С. 40 – 42.
2. Опрышко Л.В., Ващило Т.П., Кобус А.А. Внедрение непрерывнолитого металла в промышленное производство котельных труб на ОАО «Производственное объединение «Волжский трубный завод» // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2001. – № 1. – С. 56 – 60.
3. ТУ 14-3-460:2009/ТУ У 27.2-05757883-207:2009. Труби сталеві безшовні для парових котлів та трубопроводів. Технічні умови.
4. Горелик С.С. Рекристаллизация металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1978. – 567 с.
5. Опрышко Л.В., Лубе И.И. Особенности структурообразования металла котельных горячепрессованных труб из недеформированной непрерывнолитой заготовки // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. – № 6. – С. 57 – 60.
6. Служебные свойства металлов // Руководящие указания. – Ленинград, 1981. – Выпуск 43. – 75 с.
7. В.М. Розенберг. Основы жаропрочности металлических материалов. – М.: Металлургия, 1973. – 324 с.

Одержано 14.06.10

Л. В. Опрышко

Влияние технологических факторов на структуру и эксплуатационные свойства котельных горячепрессованных труб

Резюме

Исследовано влияние коэффициента вытяжки и термической обработки на структуру, жаропрочность, склонность к механическому старению, хладостойкость углеродистых котельных труб, отпрессованных из непрерывнолитого слитка. Разработана экономичная технология производства таких труб применительно к их сортаменту.

L.V. Oprishko

Influence of process-dependent factors on structure and service properties of hot-extruded boiler tubes

Summary

Influence of reduction ratio and thermal treatment on structure and high-temperature strength, susceptibility to strain ageing, cold resistance of carbon steel tubes extruded from continuously cast billets has been investigated. A low-cost technology has been developed for the