

Структура і властивості котельних гарячекатаних труб з безперервнолитої заготовки

Л. В. Опришко, Т. В. Головняк, П. В. Герасименко, Ю. А. Ткаченко

Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут трубної промисловості ім. Я. Ю. Осади, Дніпропетровськ

Досліджено поведінку металу (характеристики жароміцності, структура), виготовленого із недеформованих безперервнолитих заготовок котельних труб сталей марок 20 та 12Х1МФ у процесі тривалого навантаження. Показано суттєве підвищення їх експлуатаційної надійності.

Котельні труби за ТУ 14-3-460 «Труби сталеві безшовні для парових котлів и трубопроводів» експлуатують в агрегатах ТЕС в умовах високих температур та тиску. Основним критерієм оцінки роботоздатності металу цих труб є жароміцність, тривала міцність та тривала пластичність [1]. Межа тривалої міцності за 100 тис. і 200 тис. годин за робочих температур для кожного матеріалу труб унормована ТУ 14-3-460. Показник тривалої пластичності (відносне видовження при випробуванні зразків) нормативною документацією (НД) не регламентований, але він відіграє важливу роль, оскільки визначає деформаційну здатність труб під час роботи в обладнанні ТЕС [1, 2].

У процесі тривалої експлуатації в металі котельних труб відбувається змінення початкової структури, властивостей міцності і пластичності, накопичення мікропошкоджень, які зрештою призводять до руйнування [1 – 5].

Для отримання котельних труб із високим рівнем жароміцності в процесі виробництва має бути сформована мікроструктура металу, що задовольняє вимоги ТУ 14-3-460 і є стабільною протягом розрахункового терміну служби труб (не менш, ніж 100 тис. годин).

Останнім часом у виробництві котельних гарячекатаних труб із вуглецевих та низьколегованих марок сталі поряд із деформованою заготовкою використовують зливки безперервного розливання.

Для оцінювання роботоздатності та експлуатаційної надійності в котлоагрегатах ТЕС котельних гарячекатаних труб, виготовлених за новою технологією, що виключає деформування зливка в трубну заготовку (з недеформованої безперервнолитої заготовки – БЛЗ), проведені випробування таких труб на тривалу міцність.

Мета цієї роботи – дослідження поведінки в процесі випробування на жароміцність (тривалого навантаження за високих температур) металу гарячекатаних труб, виготовлених із БЛЗ сталей марок 20 і 12Х1МФ.

Досліджено труби розмірів 273x10 і 426x24 мм сталі 20 та розмірів 273x13 і 426x19 мм сталі 12Х1МФ, виготовлених на трубопрокатному агрегаті з безперервним станом (ТПА 159-426) із БЛЗ діаметрів 340 (для труб діаметром 273 мм) та 410 мм (для труб діаметром 426 мм).

Випробування труб на тривалу міцність проведено згідно з ГОСТ 10145 за температур 450 (сталь 20) і 550 °С (сталь 12Х1МФ) та навантаження 240 – 120 Н/мм². Сумарна база випробувань труб сталі 20 склала 140 тис. годин, сталі 12Х1МФ – 79 тис. годин. Лінійною екстраполяцією залежності часу до руйнування від навантаження в логарифмічних координатах визначили межу тривалої міцності за 100 тис. годин.

Мікроструктуру металу зразків, зруйнованих за різних напружень, досліджували на мікроскопах Neophot – 21 та Axiovert 200МАТ до і після травлення у 4 % спиртовому розчині HNO₃.

Вихідна структура металу труб сталі 20 (після гарячого прокатування й після нормалізації) та 12Х1МФ (після нормалізації й відпуску) за нормованими показниками (смугастість та орієнтація фериту за відманштеттом для сталі 20, а також співвідношення структурних складових і відсутність перекристалізації під час відпуску для сталі 12Х1МФ) задовольняла вимоги технічних умов.

Метал труб сталі 20 після гарячого прокатування відрізнявся неоднорідною величиною зерна та наявністю грубої відманштеттової структури (сильніше вираженої в трубах розміру 426x24 мм)[6]. Мікроструктури металу труб обох досліджених типорозмірів сталі 12Х1МФ практично тотожні: ферит та перліт і бейніт після відпуску.

Значення межі тривалої міцності за 100 тис. годин труб досліджених розмірів, марок сталі й станів задовольняють вимоги НД і дорівнюють: 109 – 115 Н/мм² і 95 – 109 Н/мм² (сталь 20 за температури 450 °С після гарячого прокатування й після нормалізації відповідно) та 106 – 108 Н/мм² (сталь 12Х1МФ за температури 550 °С після нормалізації з відпуском).

Значення відносного видовження (тривалої пластичності) знаходяться в діапазонах: від 8,1 до 26,1 % та від 14,1 до 31,8 % – труби сталі 20 після гарячого прокатування й після нормалізації відповідно; від 8,2 до 37,8 % – труби сталі 12Х1МФ після термічного оброблення.

Встановлена подібність поведінки металу досліджених труб із БЛЗ та труб із деформованої заготовки сталі обох марок в процесі випробувань на жароміцність [1 – 5].

За одного рівня напружень пошкоджуваність (зародження, ріст та злиття пор у тріщини) у всіх досліджених на тривалу міцність зразках сталі марок 20 і 12Х1МФ подібна. Виявлена в металі труб сталі 20 різниця в інтенсивності накопичення пошкоджуваності, що визначається часом до руйнування, обумовлена відмінностями у початковому структурному стані (після гарячого прокатування й після нормалізації).

Характер руйнування зразків труб сталі 20 досліджених розмірів та станів – змішаний, з переважанням в'язкої складової й поступовим незначним збільшенням крихкої складової зі зменшенням випробувального напруження. Особливістю сталі 12Х1МФ є різка зміна характеру руйнування

зі зниженням навантаження: від змішаного – за високого напруження до практично крихкого – за низького.

За низького напруження в мікроструктурі металу зруйнованих зразків сталі 20, поряд з порами і клиновидними тріщинами в межах зерен, спостерігаються міжкристалітні тріщини, що беруть початок від магістральної тріщини, а в сталі 12Х1МФ – міжзеренні тріщини різного ступеню грубості та поодинокі клиновидні тріщини, що охоплюють повністю або частково дрібні перлітні (бейнітні) зерна (рис. 1 – 4). Додатковим фактором окрихчування металу труб обох марок сталі є порушення суцільності границь зерен по сегрегаціях легкоплавких домішок.

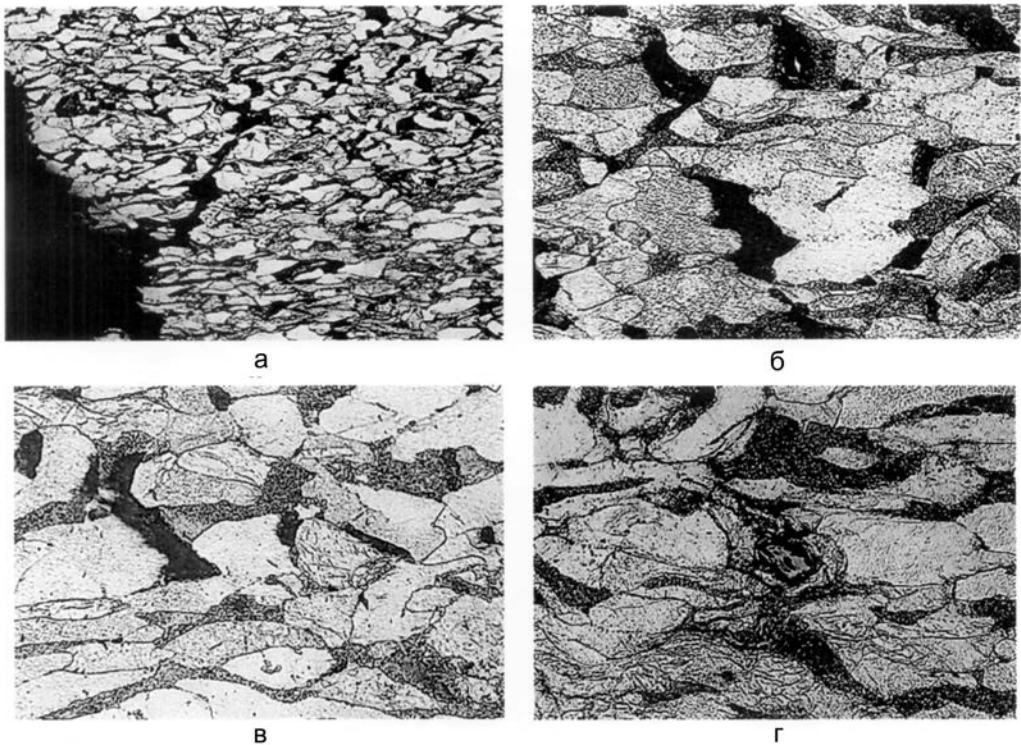


Рис. 1. Мікроструктура випробуваних при $\sigma = 140$ Н/мм², $t = 450$ °С зразків труб сталі 20 після гарячого прокатування. а – х 100, б – г – х 500.

Металографічними дослідженнями значних структурних змін в металі зруйнованих за всіх випробувальних напружень зразків труб сталі 20 та 12Х1МФ не виявлено. Перлітна складова в мікроструктурі сталі 20 залишилась щільною, без значної диференціації й сфероїдизації (рис. 1, 2). В середині феритних зерен різного ступеню витягнутості в напрямі деформування сформована субструктура [2]. У фериті проглядаються численні лінії ковзання (смуги зсуву), що мають більш складну конфігурацію та щільність в металі нормалізованих труб.

В структурі сталі 12Х1МФ виявлено лише незначну диференціацію відпущеного перліту (бейніту), виділення надлишкових фаз у фериті й на границях зерен, коагуляцію окремих карбідів (рис. 3, 4), також міграцію («розсмоктування») деяких ділянок границь між карбідами [4].

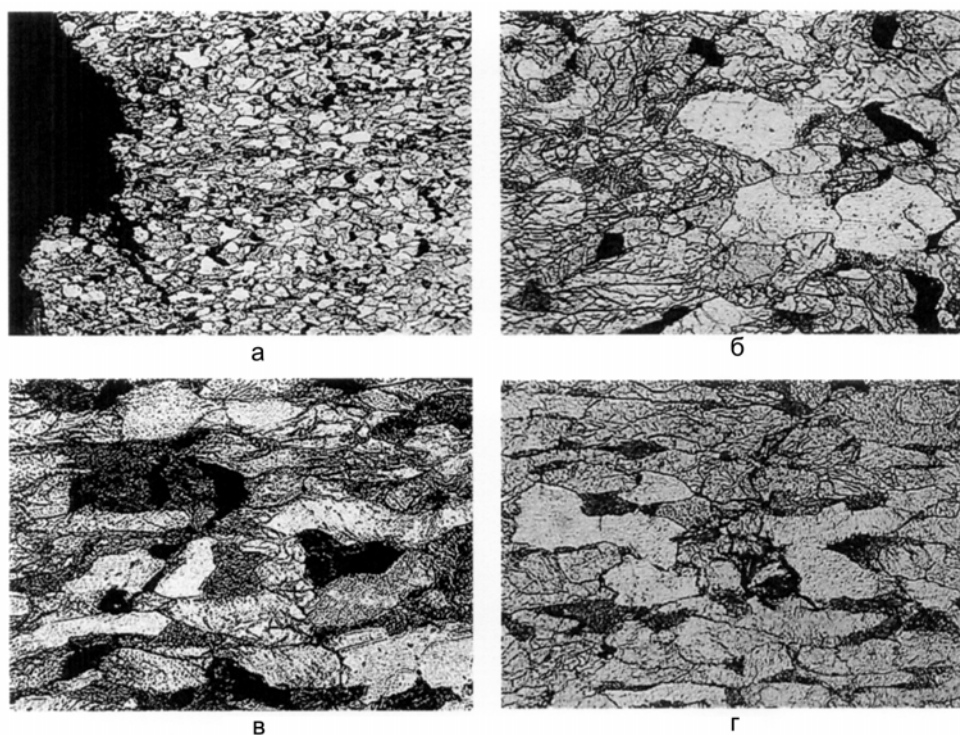


Рис. 2. Мікроструктура випробуваних при $\sigma = 140 \text{ Н/мм}^2$, $t = 450 \text{ }^\circ\text{C}$ зразків труб сталі 20 після нормалізації. а – $\times 100$, б – $\times 500$.

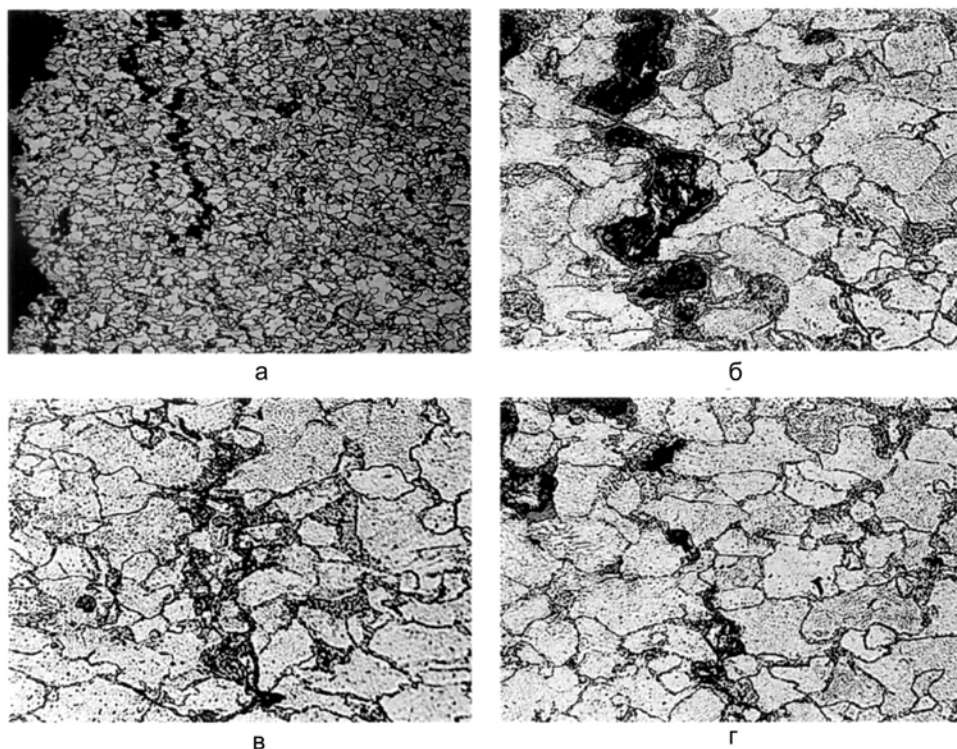


Рис. 3. Мікроструктура випробуваних при $\sigma = 140 \text{ Н/мм}^2$, $t = 550 \text{ }^\circ\text{C}$ зразків труб сталі 12X1MФ після гарячого прокатування. а – $\times 100$, б – $\times 500$.

Таким чином, використання недеформованої безперервнолитої заготовки дозволяє на ТПА 159-426 виробляти котельні гарячекатані труби сталі марок 20 і 12Х1МФ з відносно стабільною в умовах тривалого навантаження за високих температур мікроструктурою і високим рівнем жароміцності.

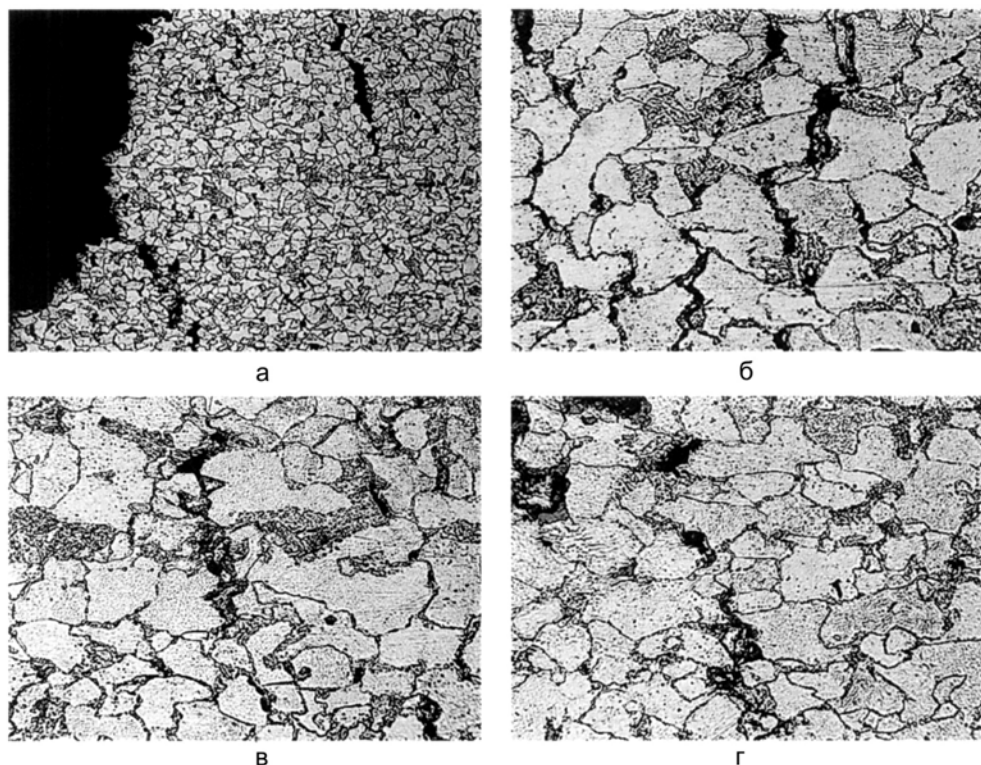


Рис. 4. Мікроструктура випробуваних при $\sigma = 140 \text{ Н/мм}^2$, $t = 550 \text{ }^\circ\text{C}$ зразків труб сталі 12Х1МФ після нормалізації. а – $\times 100$, б – г – $\times 500$.

Література

1. Антикайн П.А. Металлы и расчет на прочность котлов и трубопроводов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 368 с.
2. Бугай Н.В., Березин Т.Г., Трунин И.И. Работоспособность и долговечность металла энергетического оборудования. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 272 с.
3. Пискаленко В.В., Данилов В.И., Зуев Л.Б. Дegradaция структуры и свойств теплостойких котельных сталей а процессе эксплуатации энергетического оборудования // Изв. вузов. Черн. металлургия. – 2002. – № 6. – С. 60 – 62.
4. Куманин В.И., Ковалева Л.А., Алексеев С.В. Долговечность металла в условиях ползучести. – М.: Металлургия, 1988. – 224 с.
5. Опарина И.Б., Ботвина Л.Р. Структурный аспект накопления повреждаемости в условиях ползучести металлов // Металлы. – 2004. – № 6. – С. 95 – 99.
6. Опришко Л.В., Перепелиця Т.В., Герасименко П.В. Особливості структури та властивостей котельних гарячекатаних труб із недеформованої безперервнолитої заготовки вуглецевої сталі // Металознавство та обробка металів. – 2012. – № 4. – С. 3 – 8.

Одержано 26.10.15

Л. В. Опрышко, Т. В. Головняк, П. В. Герасименко, Ю. А. Ткаченко

Структура и свойства котельных горячекатаных труб из непрерывнолитой заготовки

Резюме

Исследовано поведение металла (характеристики жаропрочности, структура) изготовленных из недеформированных непрерывнолитых заготовок котельных труб из сталей марок 20 и 12Х1МФ в процессе длительного нагружения при рабочих температурах. Показано существенное повышение их эксплуатационной надежности.

L. V. Opryshko, T. V. Golovnyak, P. V. Gerasimenko, Yu. A. Tkachenko

Structure and properties of hot-rolled boiler tubes made from continuously cast billets

Summary

Behavior (high-temperature strength and structure) of metal of boiler tubes made from non-deformed continuously cast billets of 20 and 12X1MФ steel grades in the process of long-term loading at operating temperatures was studied. It was shown significant increase in their service reliability. It was shown significant increase in their service reliability.

Шановні колеги!

Триває передплата на науково-технічний журнал «Металознавство та обробка металів» на 2016 р.
Для регулярного одержання журналу потрібно перерахувати вартість заказаних номерів на розрахунковий рахунок Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України.
Вартість одного номера журналу – 40 грн., передплата на рік – 160 грн.

Ціна архівних номерів 1995 – 2015 рр. – 10 грн.

Розрахунковий рахунок для передплатників, спонсорів і рекламодавців:

банк ГУДКСУ в м. Києві, р/р 31257201112215, код банку 820019.

Отримувач – ФТІМС НАН України, ЗКПО 05417153,

з посиланням на журнал "МОМ".

Копію документа передплати та відомості про передплатника **просимо надсилати до редакції,** вказавши номер і дату платіжного документа.