

Валерій МИЩЕНКО, Олександра ГРЕЧКА

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТЕЙ ЖАРОТРИВКОЇ СТАЛІ 03X22Ю5ТЦЧ У ПРОЦЕСІ ДЕФОРМАЦІЙНО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

*Запорізький національний університет
вул. Жуковського, 66, м. Запоріжжя, 69600. E-mail: mishchen4@gmail.com*

Valerii MISHCHENKO, Alexandra GRECHKA

THE FORMATION OF STRUCTURE AND PROPERTIES OF HEAT-RESISTANT STEEL 03Cr22Al5TiZr DURING THERMOMECHANICAL TREATMENT

*Zaporizhia National University
66, Zhukovskogo Str., Zaporizhia, 69600, Ukraine. E-mail: mishchen4@gmail.com*

ABSTRACT

The influence of temperature of recrystallization treatment on structure and mechanical properties of hot-rolled and cold-drawn steel 03Cr22Al5TiZr (0,03% C; 19,5% Cr; 4,5% Al; 0,05% Ti; 0,005% Be; 0,001% rare-earth metals) was studied. Mechanical properties of ferritic heat-resistant steel depend on structure and crystal lattice parameter of solid solution. The increase of crystal lattice parameter and rapid growth of grain size are due to the increase of holding temperature, which promotes the dissolution of the carbide phase and impregnation of solid solution with carbon and nitrogen. It was shown, that the change of size of crystal lattice parameter leads to the change of ferrite properties and promotes the decrease of relative elongation from 20 to 5%. Fractographic studies have shown that the decrease of technological ductility of the steel 03Cr22Al5TiZr is connected with the change of the mechanism of breaking: shear cup fracture (at 800°C) transformation in quasi-spelling (at 900...1100°C). Received facts allow to select rational heat treatment regime for the steel 03Cr22Al5TiZr and to receive products with the improved complex of mechanical and operational properties.

KEY WORDS: *heat-resistant steel, heating elements, technological ductility, relative elongation, recrystallization.*

ВСТУП

Електричні печі опору непрямого нагріву є одними з найпоширеніших нагрівальних пристроїв, які застосовують у металургії, машинобудуванні та хімічній промисловості. Для виготовлення нагрівальних елементів печей опору використовують жаротривкі сплави, основними експлуатаційними характеристиками яких є: високий електричний опір, висока жаротривкість, живучість і технологічна пластичність. В останні роки більшого розповсюдження набули нагрівачі із залізо-хром-алюмінієвих сплавів – фехралі і хромалі, що не містять у складі кошовних легувальних елементів і мають при цьому, порівняно з ніхромовими сплавами, більш високу жаротривкість. Водночас, дані сплави мають низьку технологічну пластичність у холодному стані, що є суттєвим недоліком при виготовленні та наступному ремонті нагрівачів [1, 2].

Для вирішення завдання поширеного використання високохромистих сталей у виробництві необхідно поєднати збільшення характеристик технологічної пластичності та службових властивостей [3]. У більшості випадків це досягається за рахунок оптимізації хімічного складу та формування раціональної структури [4]. Грубозерниста структура, яка утворюється під час експлуатації нагрівальних елементів, значно погіршує пластичні характеристики жаротривкої сталі та зумовлює непридатність їх до ремонту.

Відомо, що високохромисті феритні сталі особливо чутливі до умов формозміни при температурі ~ 25 °С, зокрема при підвищених ступенях деформації. Тому треба забезпечити більш високу термостабільність карбідної фази, яка б стримувала ріст зерен за високих робочих

температур і довготривалій витримці сталі. При цьому сталь повинна мати підвищену схильність до зварювання [5, 6].

Метою роботи є дослідження впливу технологічних режимів деформаційно-термічної обробки на структуру та механічні властивості сталі 03X22Ю5ТЦч.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження виконували на зразках $\varnothing 7$ mm зі сплаву 03X22Ю5ТЦч (0,03% C; 19,5% Cr; 4,5% Al; 0,05% Ti; 0,005% Be; 0,001% PЗМ) [7]. Зразки нагрівали до 750...1100°C з витримкою протягом 1000 h. та подальшим охолодженням разом з піччю – імітація циклічної роботи печей магнійтермічного виробництва титану.

Зміни мікроструктурного стану вивчали на мікроскопі МІМ-8 при збільшенні в 400 разів.

Зміни параметра ґратки фериту за різних температур визначали на дифрактометрі ДРОН-1 у мідному випромінюванні з монохроматизацією дифрагованих променів. Механічні властивості визначали методом випробування на розтяг згідно з ДСТУ EN 10002-1:2006 на розривній машині типу «Ейвері». За результатами випробування визначали границю міцності σ_B , МПа, відносне видовження δ_{200} , % і відносне звуження ψ , %.

Фрактографічний аналіз зламів поверхонь сталі здійснювали методом растрової електронної мікроскопії на приладі «ISM-T300» при прискорюючому потенціалі 25-30 kV і діаметрі електронного зонду 5 μ m.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Результати металографічних досліджень наведено на рис. 1.

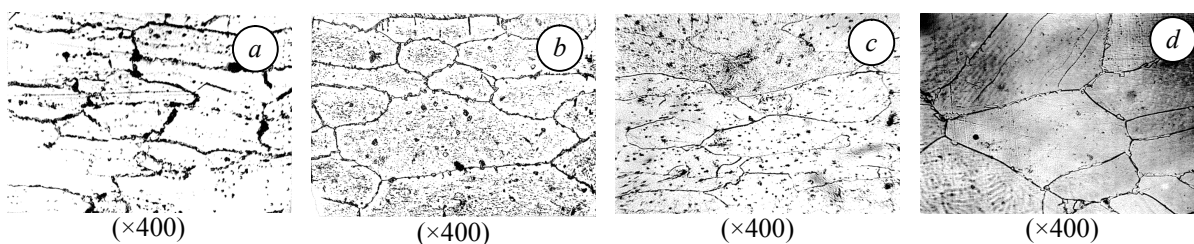


Рис. 1. Структура сталі 03X22Ю5ТЦч після витримки 1000 год. при температурі:
a – 800°C; *b* – 900°C; *c* – 1000°C; *d* – 1100°C.

Fig. 1. The structure of steel 03Cr22Al5TiZr after 1000 h holding at:
a – 800°C; *b* – 900°C; *c* – 1000°C; *d* – 1100°C.

Мікроструктура зразків сталі після витримки при температурі 800°C свідчить про незавершеність процесу рекристалізації, що підтверджується наявністю у структурі зерен, які мають витягнуту форму вздовж напрямку прикладеної деформації (текстуру деформації). Крім того, за порівняно низьких температур обробки утворюється карбонітридна фаза, якій властиво коагулювати в таких умовах (рис. 1 *a*).

При подальшому підвищенні температури витримки відбувається поступове розчинення карбонітридної фази, яке супроводжується різким збільшенням розмірів зерен (рис. 1 *b*, *c*, *d*). Легування залізо-хром-алюмінієвого сплаву титаном і цирконієм забезпечує утворення дрібнодисперсних карбідів і нітридів титану та цирконію зі сприятливою формою і рівномірним їх розподілом у сталі.

На основі рентгеноструктурних досліджень побудовано графік залежності параметра ґратки твердого розчину сплаву 03X22Ю5ТЦч від температури витримки (рис. 2). Аналіз наведених даних показує, що з ростом температури витримки спостерігається збільшення параметра ґратки твердого розчину. При цьому необхідно зазначити, що під час витримки в інтервалі температур 1000...1100°C спостерігається різке зростання параметра ґратки, що пояснюється активізацією розчинення карбідної фази та насиченням твердого розчину вуглецем та азотом. Збільшення розмірів кристалічної ґратки призводить до зміни властивостей фериту і спричиняє значне зниження показників відносного видовження сталі.

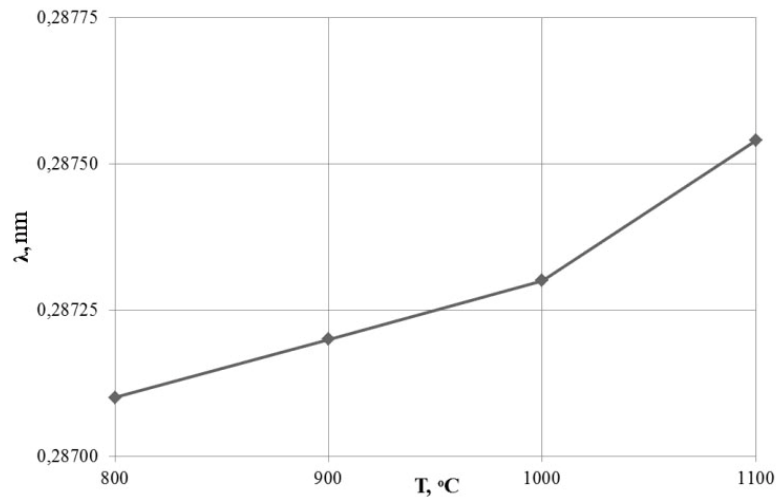


Рис. 2. Залежність параметру ґратки твердого розчину сталі 03X22Ю5ТЦч від температури витримки.

Fig. 2. The dependence of crystal lattice parameter of solid solution of steel 03Cr22Al5TiZr on holding temperature.

Із літературних джерел відомо, що під час виробництва високохромистих феритних сталей існує загроза отримання грубозернистої структури, що є великим недоліком сталей цього класу. Тому грубозернистість, яка виникає при перегріванні, неможна усунути термічною обробкою у зв'язку з відсутністю у цих сталях фазових перетворень. Окрім того, грубозерниста структура створює підвищену крихкість сталі (поріг холоднокрихкості підвищується і переходить в область позитивних температур) [8, 9].

Для феритних сплавів особливо ретельно необхідно обирати режими гарячої деформації, зокрема при останньому обтисненні, для того щоб отримати необхідну кінцеву структуру за сумісного впливу деформації та рекристалізації [10]. При неправильно підібраних режимах деформації (температурі нагріву, ступені та кінцевої температури деформації) спостерігається сильне укрупнення зерна та зниження показників технологічної пластичності (рис. 3).

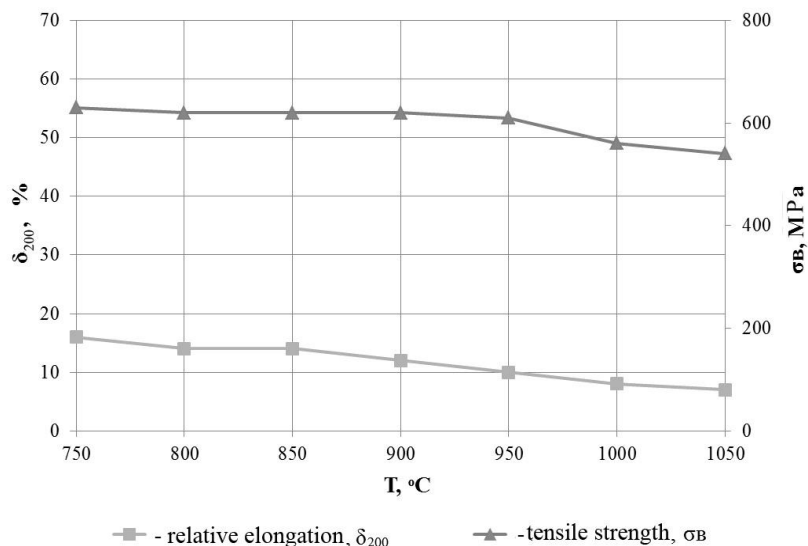


Рис. 3. Залежність механічних властивостей гарячекатаної сталі 03X22Ю5ТЦч від температури рекристалізації.

Fig. 3. The dependence of mechanical properties of hot-rolled steel 03Cr22Al5TiZr on temperature of recrystallization.

Більш високих показників механічних властивостей сталь 03X22Ю5ТЦч набуває після холодної деформації та наступної рекристалізації (рис. 4).

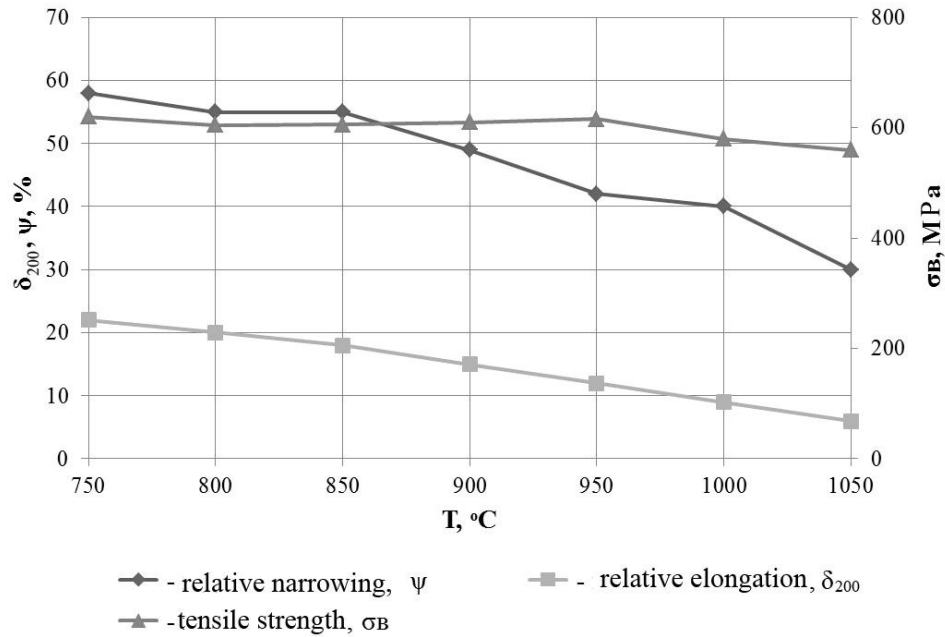


Рис. 4. Залежність механічних властивостей холоднотягнутої сталі 03X22Ю5ТЦч від температури рекристалізації.

Fig. 4. The dependence of mechanical properties of cold-drawn steel 03Cr22Al5TiZr on temperature of recrystallization.

Порівняння кривих температурної залежності границі міцності σ_b , відносного видовження δ_{200} , відносного звуження ψ і параметра кристалічної ґратки свідчить про співпадіння тенденції зниження механічних властивостей сталі зі збільшенням параметра кристалічної ґратки твердого розчину. Підвищення температури сприяє значному росту розмірів зерен і викликає високотемпературну крихкість.

Для дослідження природи впливу температури рекристалізації на технологічну пластичність сталі 03X22Ю5ТЦч здійснювали фрактографічний аналіз зламів поверхонь (рис. 5).

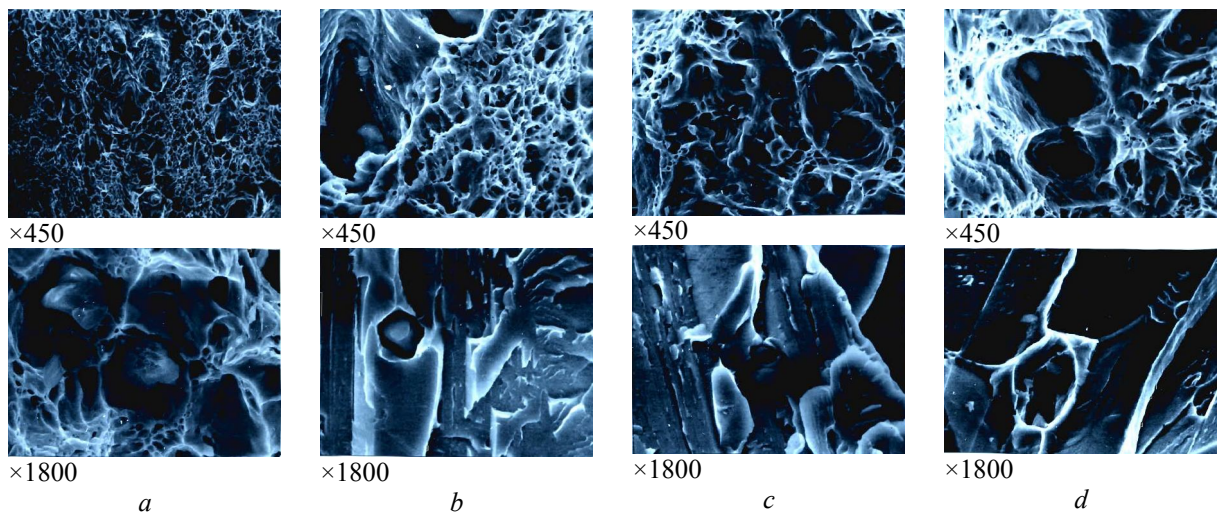


Рис. 5. Фрактограми зламів сталі 03X22Ю5ТЦч після витримки 1000 год при температурі: a – 800°C; b – 900°C; c – 1000°C; d – 1100°C.

Fig. 5. Fractographs of fracture of steel 03Cr22Al5TiZr after 1000 h. holding at: a – 800°C; b – 900°C; c – 1000°C; d – 1100°C.

Після холодної пластичної деформації і наступної термічної обробки при температурі 800°C форма зерен сталі 03X22Ю5ТЦч мала вермикулярну та овальну форму, а карбіди – переважно неправильну форму і брали активну участь у руйнуванні металу за ямочним типом (рис. 5, *a*). Підвищення температури витримки до 900°C сприяло деякому зниженню енергоємності руйнування, що підтверджується зменшенням кількості чашок в'язкого зламу на одиницю поверхні (рис. 5, *b*). Ця тенденція зберігалась і після підвищення температури витримки до 1000°C і вище. До того ж змінився сам механізм руйнування: в'язкий чашковий злам поступився чистому квазізламу (рис. 5, *c*), також помітно зменшилась роль неметалевої фази у процесі руйнування.

Фасетки крупного квазізламу збільшилися після витримки при 1000°C (рис. 5, *d*), про що можуть свідчити металографічні дослідження (рис. 1) стосовно збільшення розмірів зерен сталі при підвищеній температурі.

Спостерігалась чітка залежність між характером руйнування та показником пластичності: зміна механізму руйнування, який підсилювався помітним зростанням розмірів зерен сталі 03X22Ю5ТЦч, призвела до зниження пластичності.

ВИСНОВКИ

Підвищення температури термічної обробки призводить до розчинення карбонітридної фази та сприяє швидкому росту розмірів зерен і, відповідно, зміні механізму руйнування: в'язкий чашковий злам поступився чистому квазізламу. Це зумовило різке зниження показників відносного видовження сталі 03X22Ю5ТЦч з 20 до 5%.

У результаті виконаних досліджень встановлено оптимальні режими термічної обробки сталі 03X22Ю5ТЦч, яка полягає у нагріванні до 750...820 °C і наступному охолодженні у воду для запобігання різкого зниження пластичності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мищенко В.Г., Лазечный И.Н., Лякишев В.Ю. Экономлегированные жаростойкие стали для нагревателей термических печей // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2010. – № 2. – С. 63–68.
2. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. Коррозия и защита от коррозии. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 336 с.
3. Сплавы для нагревателей / [Жуков Л. Л., Племянникова И. М., Миронова М. Н. и др.]. – М.: Металлургия, 1985. – 144 с.
4. Мищенко В.Г., Гречка О.В., Меньяло О.І. Вплив легувальних елементів на експлуатаційні властивості жаростійких сплавів // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2015. – № 7(296). – С. 87–91.
5. Воробьев Ю.П. Карбиды в сталях // Известия Челябинского научного центра. – 2004. – № 2(23). – С. 34–60.
6. Effect of Carbon Content on Microstructure and Mechanical Properties of 9 to 12 pct Cr Ferritic/Martensitic Heat-Resistant Steels / Feng-Shi Yin, Li-Qian Tian, Bing Xue, Xue-Bo Jiang, and Li Zhou. // Metallurgical and materials transactions A. – 2012. – № 43. – P. 2203–2209.
7. Патент № 112264, Україна. МПК C22C38, Жаростійкий сплав / Мищенко В. Г., Корольков В. Ю., Гречка О. В. – заявл. 10.02.2016; опубл. 10.08.2016.
8. Гуляев А.П., Ливанова А.Н. Хрупкость высокохромистых ферритных нержавеющей сталей // Металлургия. – 1978. – № 11. – 544 с.
9. Гудремон Э. Специальные стали: Э. Гудремон; пер. с нем. под ред. А. С. Займовского, М. Л. Бернштейна, В. С. Меськина. – М.: Металлургия, 1966. – 1275 с.
10. Мищенко В.Г., Лазечный И.Н. Формирование структуры и свойств высокохромистой стали 03X22Ю5ФБч при термомеханической обработке // Литье и металлургия. – 2002. – № 4. – С. 79–81.