

УДК 621.785:669.15-194.2

© Ткаченко І.Ф.¹, Уніят М.А.²**ВПЛИВ ПОПЕРЕДНЬОЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ВЛАСТИВОСТІ ПРИ СТАТИЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ НОРМАЛІЗОВАНОГО ПРОКАТУ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ**

Вивчено вплив термічної обробки, що включала попередню ізотермічну витримку при субкритичних температурах та кінцеву нормалізацію на властивості при статичному навантаженні прокату низьколегованих нормалізованих сталей. На прикладі сталі E36 показано значне загальне підвищення міцності та збереження високої пластичності прокату внаслідок дослідженої попередньої термічної обробки. Отримані результати узгоджуються з даними металографічних досліджень про утворення високодисперсних ділянок перлітоподібних структур на межах феритових зерен під час ізотермічної витримки при субкритичних температурах.

Ключові слова: нормалізована сталь, твердість, міцність, пластичність, субкритичні температури.

Ткаченко И.Ф., Уният М.А. Влияние предварительной термической обработки на свойства при статической нагрузке нормализованного проката низколегированных сталей. Изучено влияние термической обработки, которая включала предварительную изотермическую выдержку при субкритических температурах и конечную нормализацию на свойства при статическом нагружении проката низколегированных нормализованных сталей. На примере стали E36 показано значительное общее повышение прочности и сохранение высокой пластичности проката в результате исследованной предварительной термической обработки. Полученные результаты согласуются с данными металлографических исследований об образовании высокодисперсных участков перлитоподобных структур на границах ферритовых зерен во время изотермической выдержки при субкритических температурах.

Ключевые слова: нормализована сталь, твердость, прочность, пластичность, субкритические температуры.

I.F. Tkachenko, M.A. Uniayt. The influence of preliminary heat-treatment on the tensile properties of normalized rolled low alloy steels. The tensile properties of normalized rolled low alloy E36 steel after heat-treatment regime which includes isothermal holding at the sub-critical temperatures and subsequent normalization were investigated. Substantial increase of hardness and high plasticity conservation in the result of the preliminary heat-treatment was shown. The obtained results are in accordance with the metallographic data about fine sized grain boundary pearlite areas formation during the isothermal holding.

Keywords: low alloy steels, hardness, sub-critical temperatures, plasticity.

Формулювання проблеми. Нормалізація є дуже поширеним різновидом термічного зміцнення прокату конструкційних сталей різноманітного призначення: у будівництві; при виробництві судин, що працюють під тиском; у суднобудівництві. Таким шляхом досягається формування підвищеного комплексу механічних властивостей як низьколегованих сталей так і комплексно легованих високоміцних конструкційних сталей. Проте, особливо для металопродукції збільшеного перерізу, не досягаються високі рівні міцності та спротиву ударному руйнуванню, спостерігаються великий розкид значень показників якості, а також скрихчення, особливо у комплексно легованих сталях. Існування вказаних проблем обумовлено недостатньо сприятливою мікроструктурою у стані постачання, сталей що нормалізуються: наявність фери-

¹ д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

² здобувач, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

то-перлітової смугастості, підвищені розміри та несферична морфологія колоній перлітоподібних структур. Враховуючи високу технологічність нормалізації як способу термічного зміцнення, а також все більш широке використання низько вуглецевих комплексно легованих високоміцних конструкційних сталей з підвищеними вимогами щодо їх спротиву ударному руйнуванню, актуальною є проблема подальшого підвищення та стабілізації всіх показників експлуатаційних властивостей сталей, що нормалізуються.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В результаті досліджень [1-5] встановлено суттєве подрібнення та підвищення однорідності мікроструктури конструкційних легованих сталей шляхом ізотермічної витримки у субкритичному інтервалі температур. Стосовно сталі E36 показано практично повне усунення ферито-перлітової смугастості та значне подрібнення і гомогенізація мікроструктури після ізотермічної витримки при оптимальних температурах поблизу критичної точки A_1 . Проте зміни механічних властивостей сталей після такої термічної обробки не було досліджено.

Мета роботи. Визначення впливу попередньою термічної обробки з витримкою при субкритичних температурах на показники механічних властивостей при розтягненні сталі E36 у нормалізованому стані.

Викладення основного матеріалу. Головні особливості методики проведення досліджень та хімічний склад використаної сталі наведені в роботі [6]. Попередня термічна обробка полягала в ізотермічній витримці при температурі 710 ± 5 °C протягом 2 та 4 годин. Кінцева термічна обробка являла собою нормалізацію за оптимальним для дослідженої сталі режимом ($T_n = 950 \pm 5$ °C; $\tau = 1 \div 2$ хв/мм). За кожним режимом термічної обробки випробування на статичне розтягнення проводили на 5 зразках.

Отримані результати механічних випробувань наведені в графічному вигляді на рисунку. Як можна бачити з рисунку а, попередня термічна обробка в цілому суттєво підвищує твердість сталі в нормалізованому стані. При цьому, очевидним є монотонний збільшувачий вплив тривалості ізотермічної витримки при субкритичних температурах на рівень твердості. Близькими за характером до розглянутих є зміни межі міцності (дивись рисунок б) нормалізованої сталі E36 під впливом попередньою термічної обробки. Проте збільшення тривалості ізотермічної витримки з 2-х до 4-х годин практично не впливає на рівень межі міцності. Суттєве підвищення під впливом попередньої термічної обробки спостерігається також в цілому стосовно межі течії нормалізованої сталі E36 (дивись рисунок в). В той же час, збільшення тривалості витримки з 2-х до 4-х годин призводить до відносного зниження межі течії, але до рівня який перевищує значення σ_{02} в нормалізованому стані. Стосовно відносного подовження (дивись рисунок г), отримані результати свідчать про збереження пластичності на достатньо високому стабільному рівні в умовах значного підвищення міцності в результаті проведеної попередньої термічної обробки. Аналогічні за характером зміни розглянутих показників механічних властивостей спостерігаються також в інших низьколегованих листових сталях після дослідженої комплексної термічної обробки, що включає ізотермічну витримку при субкритичних температурах.

Наведені дані стосовно впливу попередньою термічної обробки на міцність та пластичність сталі E36 узгоджуються з відповідними змінами її мікроструктури, аналіз яких наведено в роботі [7]. Добре відомо, що початок пластичної деформації фериту який є матричною фазою у низьковуглецевих сталях відповідає утворенню дислокацій на внутрішньо фазових та між фазових межах та їх переміщенню до протилежних меж [8]. Під час вказаного переміщення дислокації взаємодіють між собою, що обумовлює спротив початку пластичної деформації або межі течії, рівень якого залежить від щільності дислокацій, що генеруються на вказаних межах. В свою чергу щільність генерованих дислокацій залежить від розміру зерна фериту або радіусу кривизни частинок зміцнюючих фаз в об'ємі чи на межах феритових зерен.

Згідно з результатами металографічних досліджень [7] ізотермічна витримка сталі E36 при субкритичних температурах не супроводжується змінами розміру феритового зерна але призводить до утворення високодисперсних ділянок перлітоподібних структур на межах зерен в процесі усунення ферито-перлітової смугастості. Завдяки малому радіусу вказаних ділянок вони мають високу здатність до генерування нових мобільних дислокацій на початковій стадії процесу пластичної деформації. Виходячи з цього зростання межі течії (дивись рисунок в) після попередньої термічної обробки з витримкою 2 години треба пов'язувати саме з присутністю вкрай дисперсних колоній перлітоподібних структур вздовж меж зерен фериту. Збільшення

тривалості витримки до 4 годин (дивись рисунок в) супроводжується зростанням вказаних перлітових ділянок вздовж меж зерен, що знижує їх здатність до генерування нових мобільних дислокацій. Проте на пізніших стадіях пластичної деформації зберігається загальна підвищена щільність дислокацій у фериті, обумовлена присутністю достатньо дисперсних перлітових колоній на межах зерен. Наслідком вказаних особливостей дислокаційної субструктури фериту після проведеної термічної обробки є монотонне підвищення межі міцності (дивись рисунок б) сталі, яка характеризує інтенсивність дислокаційного зміцнення після початку пластичної деформації. Збереження підвищеної інтенсивності генерування нових високо мобільних дислокацій протягом всього процесу пластичної деформації сталі підтверджується високим рівнем пластичності (дивись рисунок г).

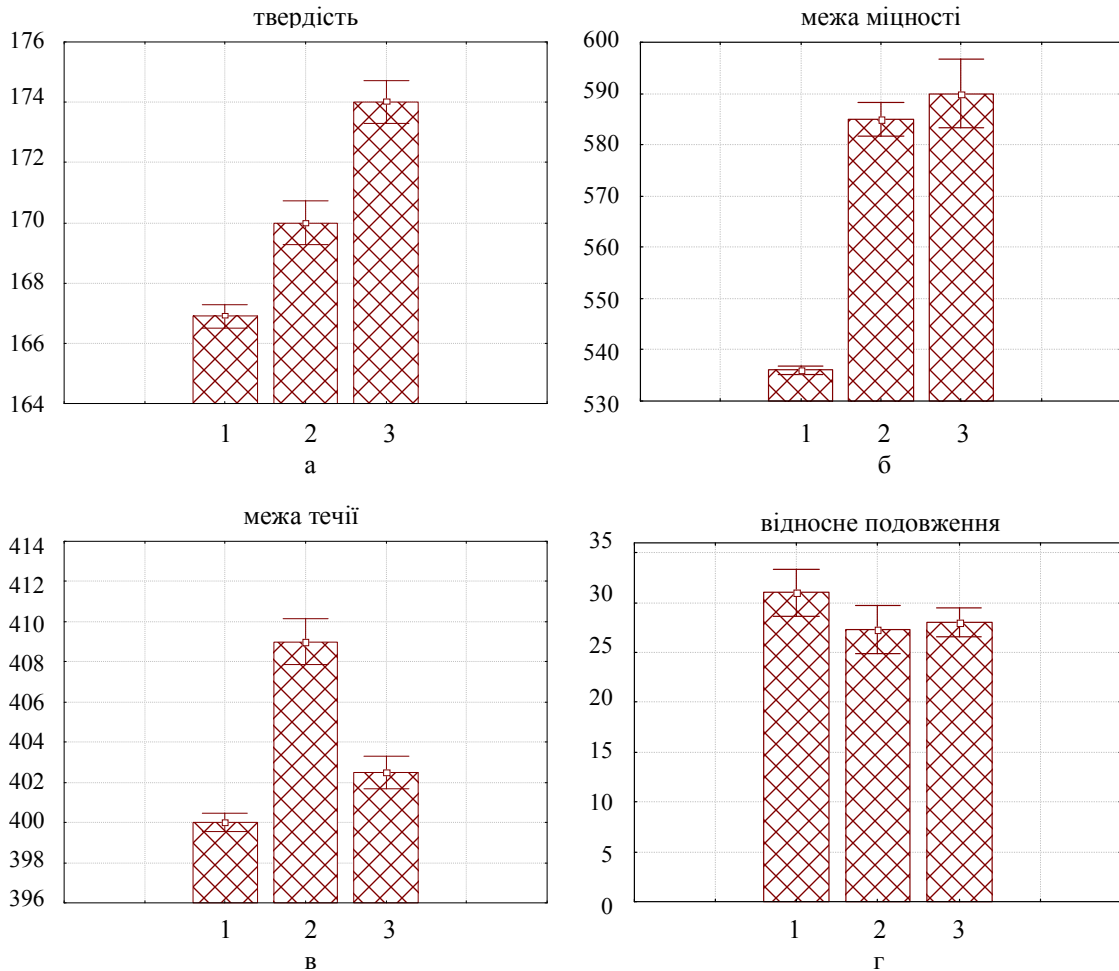


Рисунок – Вплив попередньої термічної обробки на механічні властивості при розтягненні сталі E36 після нормалізації: 1 – в промислових умовах; 2 – з попередньою термічною обробкою: 710°C, 2 години; 3 – з попередньою термічною обробкою: 710°C, 4 години

З наведених результатів можна зробити висновок про досягнення найбільш сприятливого комплексу механічних властивостей при розтягненні нормалізованої сталі E36 після попередньої термічної обробки, що включає ізотермічну витримку при температурі $710 \pm 5^\circ\text{C}$ протягом 2 годин [9].

Висновки

1. Встановлено суттєве підвищення міцносних показників в поєднанні із збереженням високої пластичності для товстолистового нормалізованого прокату низьколегованої сталі E36 в результаті застосування попередньої термічної обробки, що включає ізотермічну витримку

при субкритичних температурах.

2. Встановлено монотонне зростання твердості та межі міцності, зниження межі течії та незмінність високого рівня відносного подовження дослідженої сталі із збільшенням тривалості ізотермічної витримки під час попередньої термічної обробки з 2-х до 4-х годин.
3. Отримані результати, на підставі раніше виконаних металографічних досліджень, пояснено утворенням, під час попередньої термічної обробки, на межах феритових зерен високодисперсних ділянок перлітоподібних структур, що забезпечують генерування мобільних дислокацій протягом всього процесу пластичної деформації.

Перелік використаних джерел:

1. Голованенко С.Н. Двухфазные низколегированные стали / С.Н. Голованенко, Н.М. Фонштейн. – М.: Металлургия, 1986. – 207 с.
2. Пат. 65944 Україна, МПК С 21 D 1/00. Спосіб термічної обробки металопродукції з конструкційних легованих сталей.
3. Ткаченко И.Ф. Об особенностях образования аустенита при нагреве легированных сталей / И.Ф. Ткаченко, К.И. Ткаченко // Вісник Приазовського державного технічного університету. Сер.: Технічні науки: Зб. наук. праць. – Маріуполь: ДВНЗ «Призов. держ. техн. ун-т», 2002. – Вип. 12. – С. 90-92.
4. Пат. 75610 Україна, МПК С 21 D 1/00. Спосіб комплексної термічної обробки металовиробів з легованих сталей.
5. Ткаченко И.Ф. Повышение комплекса механических свойств проката высокопрочных сталей за счет новых режимов термической обработки / И.Ф. Ткаченко // Вісник Приазовського державного технічного університету. Сер.: Технічні науки: Зб. наук. праць. – Маріуполь: ДВНЗ «Призов. держ. техн. ун-т», 2000. – Вип. 10. – С. 100-105.
6. Ткаченко І.Ф. Вплив попередньої термічної обробки на мікроструктуру нормалізованої сталі E36 / І.Ф. Ткаченко, М.А. Уніят // Вісник Приазовського державного технічного університету. Сер.: Технічні науки: Зб. наук. праць. – Маріуполь: ДВНЗ «Призов. держ. техн. ун-т», 2012. – Вип. 24. – С. 86-89.
7. Ткаченко І.Ф. Вплив умов нагрівання на структуру та твердість низьколегованих сталей / І.Ф. Ткаченко, М.А. Уніят // Вісник Приазовського державного технічного університету. Сер.: Технічні науки: Зб. наук. праць. – Маріуполь: ДВНЗ «Призов. держ. техн. ун-т», 2010. – Вип. 20. – С. 105-108.
8. Хорнбоген Е. Повышение прочности дисперсными выделениями / Е. Хорнбоген // Статическая прочность и механика разрушения сталей : Сборник научных трудов. Пер. с нем. / Под ред. Даля В., Антона В. – М.: Металлургия, 1986. 566с. – С. 165 – 189.
9. Пат. 83059 Україна. МПК С 21 D 1/00. Спосіб термічної обробки металопродукції з легованих сталей, які нормалізуються.

Bibliography:

1. Golovanenko S.N. The double-structures of low alloy sheet steels / S.N. Golovanenko, N.M. Forshtein. – M.: Metallurgical, 1986. – 207 p. (Rus.)
2. Pat. 65944 Ukraine, IPC C21 D 1/00. The method of heat-treatment metalproduction of low alloy sheet steels. (Ukr.)
3. Tkachenko I.F., K.I. Tkachenko. Upon the austenite formation in alloy steels during heating / I.F. Tkachenko. K.I. Tkachenko // Visnik Priazovsk state technical university: scientific transactions. – Mariupol, 2002. – №12. – P. 90-92. (Rus.)
4. Pat. 75610 Ukraine, IPC C21 D 1/00. The complex method of heat-treatment metalproduction of alloy sheet steels. (Ukr.)
5. I.F. Tkachenko. An increase of the mechanical properties of high strength sheet steels by new heat treatment technologies / I.F. Tkachenko // Visnik Priazovsk state technical university: scientific transactions. – Mariupol, 2000. – №10. – P. 100-105. (Rus.)
6. Tkachenko I.F. The influence of preliminary heat-treatment on microstructure of normalized low alloy steel E36/ I.F. Tkachenko, M.A. Uniayt // Visnik Priazovsk state technical university: scientific transactions. – Mariupol, 2012. – №24. – P. 86-89. (Rus.)
7. Tkachenko I.F. The influence of heating conditions on structure and hardness of as-quenched low

- alloy sheet steels / I.F. Tkachenko, M.A. Uniayt // Visnik Priazovsk state technical university: scientific transactions. – Mariupol, 2010. – №20. – P. 105-108. (Rus.)
8. Hornbogen E. An increase of the strength by fine sized excretions / E. Hornbogen // Static strength and mechanics of destruction of steels : scientific transactions. Translation from German / Edited Dalya V., Anton V. – M.: Metallurgy, 1986. 566p. – P. 165-189. (Rus.)
 9. Pat. 83059 Ukraine, IPC C21 D 1/00. The method of heat-treatment metalproduction of alloy sheet steels, which are normalized. (Ukr.)

Рецензент: Л.С. Малінов
д-р техн. наук. проф. ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 14.11.2013