

УДК 669.14:669.788.001.5

Ткаченко І.Ф.<sup>1</sup>, Григор'єва М.О.<sup>2</sup>, Ткаченко Н.В.<sup>3</sup>

**ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ТРИВАЛОСТІ ВИТРИМКИ  
ПОБЛИЗУ КРИТИЧНИХ ТОЧОК  $A_{c1}$  НА СТРУКТУРУ І  
ФАЗОВИЙ СТАН ВИСОКОМІЦНИХ ЗВАРЮВАНИХ СТАЛЕЙ**

*Методами металографії в поляризованому та неполяризованому світлі, а також рентгеноструктурного кількісного фазового аналізу досліджено вплив температури та тривалості витримки поблизу критичних точок  $A_{c1}$  на кількість залишкового аустеніту та мікроструктуру листового прокату високоміцних зварювальних сталей. Встановлено особливості змін досліджених характеристик та умови формування найбільш дисперсного та однорідного структурного стану*

Формування однорідної мікроструктури конструкційних сталей є обов'язковою умовою досягнення високого комплексу їх властивостей [1, 2]. Особливу важливість ця проблема має стосовно високоміцних зварюваних сталей, властивості яких багато в чому визначаються ступенем однорідності розподілу частинок зміцнюючих фаз [2]. У даний час основним способом формування однорідної мікроструктури вказаних сталей є термомеханічна обробка, яка, проте, не може бути використана при виробництві товстолистового прокату [3]. Роботи, виконані в даному напрямі [4, 5], показали визначальну роль попередньої термообробки для досягнення необхідного кінцевого структурного стану.

Мета роботи – дослідження можливості створення однорідного структурного стану високоміцних зварюваних сталей шляхом термообробки з нагрівом коло критичних точок  $A_{c1}$ .

Дослідження проводили на зразках сталей типу 10X2H4МДФ, в початковому гарячекатаному стані, після термічної обробки, яка включала ізотермічну витримку при температурах в інтервалі 650 – 760 °С протягом 4 – 18 годин з подальшим охолодженням у воді. Мікроструктуру і фазовий склад вивчили методами, відповідно, оптичної металографії в неполяризованому і поляризованому світлі на установці «Epiquant-2M», а також рентгеноструктурного аналізу на дифрактометрі УРС-50ИМ. Травлення металографічних шліфів проводилося в спиртних розчинах азотної і пікринової кислот.

На рисунках представлені найбільш характерні ділянки мікроструктури прокату сталі типу 10X2H4МДФ після ізотермічної витримки при температурах 650 – 730 °С протягом 4 – 6 годин. Проведені дослідження показали, що використання неполяризованого світла часто не дозволяло виявити закономірні відмінності мікроструктур, що спостерігалися, тому спостереження проводилися, в основному, в поляризованому світлі.

Як видно з рис. 1а, 1б, витримка при температурах  $655 \pm 5$  °С протягом 4-х годин, приводить до формування структури, в межах якої можна виділити, зокрема, світлі ділянки неправильної форми із слідами тонкого поверхневого рельєфу. Якісно подібний характер мікроструктури зберігається при збільшенні часу витримки до 6 годин при вказаній температурі (рис. 1в, 1г). Проте, при цьому спостерігається збільшення розмірів світлих областей мікроструктури до значень, що відповідають діаметру аустенітного зерна в гарячекатаному стані: № 3...4. Враховуючи більш обмежену відбивну здатність поляризованого світла, в порівнянні з неполяризованим, ділянки мікроструктури одного кольору на мікрошліфах, слід розглядати як такі, що мають близьке кристалографічне орієнтування.

<sup>1</sup>ПДТУ, д-р. техн. наук, проф.

<sup>2</sup>ПДТУ, канд. техн. наук, доц.

<sup>3</sup>ПДТУ, аспірант

Наявність таких ділянок після вказаних режимів термообробки, у поєднанні зі збільшенням їх площі із зростанням тривалості ізотермічної витримки при субкритичних температурах, можна пояснити розвитком процесу полігонізації  $\alpha$ -фази, що зберігає, разом з тим, свій пластинчастий (голчастий) характер, що виявляється при травленні розчином пікринової кислоти (див. рис. 1д). В ході полігонізації, вочевидь, відбувається усереднення разорієнтування різних пластин (голок)  $\alpha$ -фази, за рахунок утворення в межах кожної з них дислокаційних осередків, розділених малокутовими межами.

Вочевидь, у вказаних умовах, пластинчастий характер структури виявити складно, при використанні реактивів, що не проявляють високої активності по відношенню до внутрішньофазних меж розділу, якими володіють розчини пікринової кислоти. Цей висновок узгоджується з тим, що розміри ділянок мікроструктури світлого кольору досягають розмірів аустенітного зерна в гарячекатаному стані. Згідно з результатами рентгенографічного аналізу (таблиця 1), в структурі сталі після даної термообробки присутній залишковий аустеніт, причому його кількість зростає із збільшенням тривалості ізотермічної витримки, при субкритичних температурах, як в недеформованому стані, так і після руйнування.

Таблиця 1 – Вплив умов термообробки на кількість залишкового аустеніту в структурі сталі типу 10X2H4МДФ

Температура витримки, °С	Тривалість витримки, год.	Об'ємний вміст залишкового аустеніту, %	
		з боку зламу	з боку протилежної до зламу
655 ± 5	4	0	2,2
655 ± 5	6	1,8	4,7
690 ± 5	5	0	2,7
725 ± 5	4	0	3,6

Ці дані свідчать про підвищення термодинамічної стабільності аустеніту, що утворюється при у вказаних умовах, з часом витримки, що можна пояснити розвитком дифузії легуючих елементів до дислокаційних субмеж, як місць потенційного утворення зародків  $\gamma$ -фази.

Різка зміна характеру мікроструктури, при спостереженні в поляризованому світлі, відбувається після ізотермічної витримки при  $690 \pm 5$  °С протягом 5 годин. (рис. 3). Отриманий структурний стан, з урахуванням вищевикладеного (див. таблицю.) можна охарактеризувати як полігонізовану феритну матрицю, що містить надзвичайно дисперсні і рівномірно розподілені ділянки («острівці»), що являють собою, вірогідніше за все, з аустеніто – мартенситні конгломерати, які сформувалися на базі відповідних об'ємів  $\gamma$ -фази, зародження яких було можливе в процесі ізотермічної витримки на дислокаційних субмежах, як по периметру, так і в межах кристалів  $\alpha$ -фази.

Мікроструктура дослідженої сталі після ізотермічної витримки при  $725 \pm 5$  °С протягом 4-х годин, яка відповідає рівноважній ( $\alpha+\gamma$ ) області, показана на рис. 4. Звертає на себе увагу, перш за все, аналогія отриманого структурного стану, при спостереженні в поляризованому світлі, з тим який сформувався при знижених температурах витримки в субкритичній області (див. рис. 2). Так само, як і на рис. 2, спостерігаються обширні світлі області з ознаками єдиного орієнтування, розміри яких близькі до середнього діаметру дійсного аустенітного зерна: № 3...4.

Наведені результати, а також дані про присутність в структурі підвищеного вмісту залишкового аустеніту (див. таблицю), добре узгоджується з уявленнями [2] про утворення і зростання кристалів аустеніту при температурах ( $\alpha+\gamma$ ) області за зсувним механізмом переважно на межах пластин  $\alpha$ -фази, що забезпечує єдине орієнтування в межах початкових аустенітних зерен, що сформувалися в гарячекатаному стані, а також нерівноважний об'ємний вміст залишкового аустеніту в структурі.

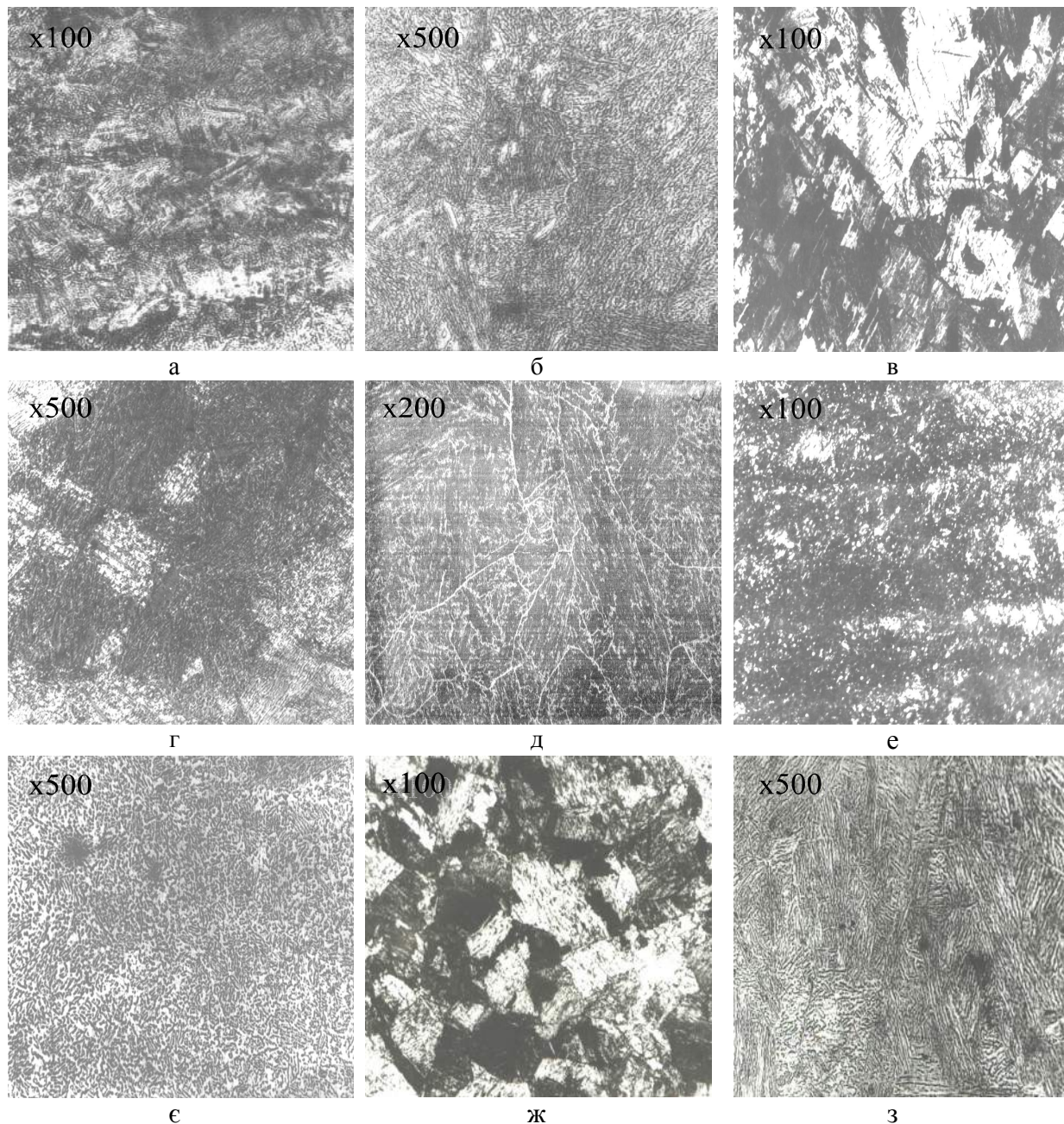


Рис. 1 – Найбільш характерні ділянки мікроструктури прокату сталі типу 10X2H4MDF після ізотермічної витримки при температурах 650 – 730°C протягом 4 – 6 годин:  
 а, б – 655 ± 5 °С протягом 4-х годин при спостереженні у поляризованому світлі  
 в, г – 655 ± 5 °С протягом 6-х годин, при спостереженні у поляризованому світлі (травлення розчином пікринової кислоти)  
 д – 655 ± 5 °С протягом 6-х годин, при спостереженні у неполяризованому світлі (травлення розчином пікринової кислоти)  
 е – 690 ± 5°C, протягом 5-х годин, при спостереженні у поляризованому світлі  
 є – 690 ± 5°C, протягом 5-х годин, при спостереженні у неполяризованому світлі  
 ж – 725 ± 5°C, протягом 4-х годин, при спостереженні у поляризованому світлі  
 з – 725 ± 5°C, протягом 4-х годин, при спостереженні у неполяризованому світлі

Отримані результати дають можливість розробляти нові технології термічного зміцнення сталей відповідального призначення для отримання стабільно – високого комплексу механічних властивостей.

#### *Висновки*

1. Оптичний металографічний аналіз, виконаний з використанням поляризованого світла, дозволив виявити області структури термічно покращеної сталі типу 10X2H4МДФ з розмірами, які відповідають діаметру дійсного аустенітного зерна та мають близьке кристалографічне орієнтування.
2. Методами рентгенографічного аналізу встановлена присутність залишкового аустеніту в структурі дослідженої сталі після витримки при субкритичних температурах (650...690 °С) і зростання його об'ємного змісту при збільшенні тривалості витримки. Показана наявність залишкового аустеніту в структурі досліджених сталей після витримки в межах ( $\alpha + \gamma$ ) – області і зниження його об'ємної частки при збільшенні тривалості витримки.
3. Виключно однорідний розподіл і дисперсні розміри вказаних областей досягаються в результаті ізотермічної витримки при  $690 \pm 5$  °С протягом не менше 5 годин.
4. Отримані результати пояснені виходячи з наявності підвищеної щільності дислокацій у вихідному стані досліджених сталей, розвитку полігонізації при субкритичних температурах та впливу дислокаційних субмеж на процес утворення аустеніту при нагріванні.

#### *Перелік посилань*

1. *Пикеринг Ф.Б.* Физическое металловедение и разработка сталей.: Пер. с англ. / *Ф.Б. Пикеринг.* – М.: Металлургия, 1982. – 184 с.
2. *Мартин Дж.* Микромеханизмы дисперсионного твердения сплавов: Пер. с англ./ *Дж. Мартин.* – М.: Металлургия, 1983. – 167 с.
3. *Бернштейн М.Л.* Термомеханическая обработка металлов и сплавов.: Пер. с англ. / *М.Л. Бернштейн.* – М.: Металлургия, 1968. – 460с.
4. *Ткаченко И.Ф.* Повышение механических свойств высокопрочных конструкционных сталей за счет контроля исходной микроструктуры / *И.Ф. Ткаченко* // Тр. Междунар. конф. «Оборудование и технология термической обработки металлов и сплавов» (ОТТОМ-4). – Харьков: ХФТИ. – 2003. – Т. 1.– С. 64 – 65.
5. *Ткаченко И.Ф.* Многоцелевая оптимизация технологии термического упрочнения проката высокопрочных свариваемых сталей с использованием компьютерной технологии "Data Mining" / *И.Ф. Ткаченко* // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: Зб. наук. пр.– Мариуполь, 2004. – Вип. № 14. – С. 30 – 37.

Рецензент: В.Г. Єфременко  
д-р техн. наук, проф., ПДТУ

Стаття надійшла 17.02.2009