

УДК 620. 18:669.15-194.018.26.001.5

## *Тонка кристалічна будова маловуглецевих сталей після деформаційно-термічної обробки у міжкритичному інтервалі температур*

В.Г. Раздобреєв, кандидат технічних наук

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, Дніпропетровськ

*Досліджено вплив режимів деформації та охолодження на тонку кристалічну будову та дислокаційну структуру ферито-мартенситної маловуглецевої та низьколегованої марок сталей з метою підвищення їх фізико-механічних властивостей.*

**М**аловуглецеві та низьколеговані сталі в гарячекатаному стані мають досить низьку міцність й опір руйнуванню. Застосування деформаційно-термічної обробки у двофазній області є сучасною тенденцією щодо нових можливостей варіювання структурою й властивостями металу [1 – 5]. Метою деформації у двофазній області (аустеніто-феритній,  $\alpha + \gamma$  області), що називається також міжкритичним інтервалом температур (МКІТ), є досягнення сприятливого поєднання міцності, пластичності, в'язкості й інших службових характеристик [6 – 8]. Особливо перспективно одержання готового прокату з ферито-мартенситною структурою, застосування якого ефективно при виготовленні машинобудівної продукції. Проте в літературі недостатньо висвітлені данні про вплив режимів деформації та охолодження на тонку структуру ферито-мартенситної сталі.

Метою роботи був аналіз тонкої будови й дислокаційної структури фериту маловуглецевої сталі марки Ст.3 і низьколегованої сталі марки 20ГС після обробки за різними режимами деформаційно-термічного зміцнення в МКІТ. Деформаційно-термічна обробка сталей виконана на прокатному стані 300 лабораторної бази Інституту чорної металургії. Ширина й довжина зразків однакова для всіх серій відповідно 16 і 350 мм. Зразки прокатували до однієї кінцевої товщини в середньому 8 мм.

Напівпромисловий прокатний стан 300 ДУО з валками діаметром 325 мм, на виході якого встановлений пристрій для прискореного охолодження штабів з прокатного нагріву. Пристрій має систему керування, за допомогою якої можна задавати необхідну тривалість паузи перед охолодженням і час охолодження штаби до необхідної температури самовідпуску.

Деформаційну обробку зі ступенем обтискування 50 % за один прохід проводили при температурі 740 °С. Після деформаційної обробки використали три режими охолодження: на повітрі, в установці прискореного охолодження до температури самовідпуску ~ 550 °С, до кімнатної температури потоком води на цій же установці. Прокатку проводили на швидкості 6,4 м/с, що відповідало середній швидкості деформації 60 – 100 с<sup>-1</sup>. На плівці осцилографа фіксували зусилля прокатки, час охолодження і температуру поверхні охолоджених штаб. Таким чином, було реалізовано

## Структура і фізико-механічні властивості

фізичну модель закінчення процесу прокатки сортового й штабового металу за термомеханічними і швидкісними параметрами досить близьку до промислової технології.

Дослідження тонкої кристалічної структури проводили рентгеноструктурним методом на дифрактометрі ДРОН-УМ1. Зйомку інтерференцій (110) і (220) вели в залізному випромінюванні в автоматичному режимі за допомогою керуючого комплексу дифрактометра на базі ПЕОМ “Іскра-1256”.

Густоту дислокацій визначали, використовуючи методику робіт [9, 10].

Дифрактометричний аналіз у цілому й розрахунок параметрів тонкої структури зроблений на ПЕОМ “Іскра-1256” з використанням програми “Радіан”.

Аналіз наведених у таблиці даних показав, що в зразках зі сталі марки Ст.3 після деформації при 740 °С та охолодження на спокійному повітрі, незважаючи на збільшення рівня мікродеформації у 2,0 рази, яка пов'язана із пружним вигином ґратки фериту, густина дислокацій не збільшується. Це пояснюється тим, що в процесі сповільненого охолодження на повітрі у феритній матриці сталі встигають відбутися процеси рекристалізації. В результаті цього отримуємо значення густоти дислокацій нижчі, ніж у вихідному гарячекатаному стані. Мікродеформація (МКД) ґратки фериту і густина дислокацій після перерваного прискореного охолодження від температури деформації 740 °С зростають порівняно з вихідним станом в 2,4 рази, а після гартування – в 4,9 рази. Це пов'язано з утворенням у структурі сталі при гартуванні ділянок мартенситу, об'ємна частка яких склала 35 %. Саме внеском мартенситу, як складової

Параметри тонкої кристалічної будови досліджених сталей

Марка сталі	Вид обробки	Фізичне розширення інтерференцій в, рад $\times 10^{-3}$		Значення мікродеформації $\Delta a/a \times 10^3$	Розмір областей когерентного розсіювання $D \times 10^5$ , см	Густина дислокацій $\rho \times 10^{-9}$ , $\text{см}^{-2}$
		(110)	(220)			
Ст. 3	Вихідний гарячекатаний стан	1,446	6,174	0,231	2,241	4,9
	деформація, 740 °С, охолодження на повітрі	0,957	5,758	0,458	–	4,3
	деформація, 740 °С, прискорене охолодження	0,919	7,002	0,557	–	6,4
	деформація, 740 °С, гартування	2,423	14,223	1,131	–	26,3
20ГС	Вихідний гарячекатаний стан	0,947	6,43	0,511	–	5,3
	деформація, 740 °С, охолодження на повітрі	1,733	11,029	0,877	–	15,8
	740 °С, деформація, прискорене охолодження	2,371	14,212	1,130	-	26,3
	740 °С, деформація, гартування	3,869	19,263	1,088	1,449	48,2

з високою густиною дефектів, і пояснюється різке збільшення аналізованих параметрів при гартуванні зразків зі сталі марки Ст.3.

В зразках зі сталі марки 20ГС рівень значень МКД і густоти дислокацій вищий у 2 і більше разів порівняно зі зразками сталі марки Ст.3 як у вихідному гарячекатаному стані, так і після різних варіантів охолодження від тієї ж температури нагріву під прокатку (740 °С). Особливістю сталі 20ГС як низьколегованої є більш низький рівень МКД у гартованому стані у порівнянні із прискорено охолодженням. Це пов'язано з тим, що аустеніт двофазної  $\alpha + \gamma$  структури при гартуванні від температури деформаційної обробки перетворюється в "пакетно-рейковий" мартенсит. При сповільненому охолодженні в результаті більшого пересичення вуглецем, що залишається до початку перетворення аустеніту при  $\gamma \rightarrow \alpha$  переході, утворюється видозмінений двійниково-пластинчастий мартенсит. У такому мартенситі рівень мікрореформацій вищий, а густина дефектів будови ґратки нижча.

Встановлене при розрахунку значення областей когерентного розсіювання D дорівнює  $1,449 \times 10^{-5}$  см (таблиця) і є фактично усередненим для фериту й мартенситу в структурі сталі марки 20ГС після обробки за режимом з наступним гартуванням.

В зразках зі сталі марки Ст.3 внесок дрібнооблочної структури в дифракцію рентгенівських променів проявляється тільки для вихідного гарячекатаного стану. При всіх видах обробки зразків зі сталі марки Ст.3 внесок мікрореформацій у розширення рентгенівських інтерференцій значно превалює над внеском областей когерентного розсіювання, тобто рівень мікронапружень у ґратках фериту сталі є відносно високим.

Таким чином показано, що для зразків зі сталі Ст.3 рівень мікрореформацій ґратки фериту і густина дислокацій у ньому після деформаційно-термічної обробки з двофазної області зростають в 2,4 рази після перерваного прискореного охолодження і в 4,9 рази після гартування порівняно з вихідним гарячекатаним станом. В зразках зі сталі марки 20ГС рівень мікрореформацій і густина дислокацій в 2,0 – 4,0 рази вищі порівняно зі зразками зі сталі марки Ст.3 при всіх варіантах деформаційно-термічної обробки у міжкритичному інтервалі температур. Як показали виконані нами дослідження в результаті такої обробки формується сприятлива субструктура, яка успадковується від дрібнозернистого аустеніту, досягаються високі значення фізико-механічних та службових властивостей готового прокату [1 –7]. Одержані результати дозволяють оптимізувати температурно-швидкісні параметри прокатки та наступного термомеханічного зміцнення арматурного прокату в потоці дрібносортих станів.

## Література

1. Узлов И.Г., Раздобреев В.Г., Федорова И.П. Особенности формирования структуры и свойств сортового проката из малоуглеродистых и низколегированных сталей при низкотемпературных деформационно-термических обработках // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2004. – № 3. – С. 63 – 68.
2. Чабби Л., Ленерт В. Контролируемая прокатка улучшаемых сталей в двухфазной области // *Черн. металлы*. – 1998. – № 7 – 8. – С. 80 – 84.
3. Большаков В.И., Рычагов В.Н., Флоров В.К. Термическая и термомеханическая обработка строительных сталей. – Днепропетровск: Січ, 1994. – 231 с.
4. Пикеринг Ф.Б. Физическое металловедение и разработка сталей. – М.: Металлургия, 1982. – 184 с.
5. Голованенко С.А., Фонштейн Н.М. Двухфазные низколегированные стали. – М.: Металлургия, 1986. – 207 с.

6. Диаграммы горячей деформации, структуры и свойства сталей: Справ. / М.Л. Бернштейн, С.В. Добаткин, Л.М. Капуткина. – М.: Металлургия, 1989. – 544 с.
7. Узлов И.Г., Куцыгин М.Д., Федорова И.П. Структура и свойства углеродистых конструкционных сталей после их деформационно-термической обработки при пониженных температурах // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1999. – № 2 – 3. – С. 39 – 42.
8. Тушинский Л.И. Теория и технология упрочнения металлических сплавов. – Новосибирск: Наука, 1990. – 306 с.
9. Металловедение и термическая обработка: Справ. Т.1. / Под ред. Бернштейна М.Л., Рахштадта А.Г. – М.: Металлургия, 1983. – 362 с.
10. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электроннооптический анализ. – М.: МИСиС, 1994. – 328 с.

Одержано 28.07.08

**В.Г. Раздобреев**

**Тонкая кристаллическая структура малоуглеродистых сталей после деформационно-термической обработки в межкритическом интервале температур**

**Резюме**

Исследовано влияние режимов деформации и охлаждения на тонкую кристаллическую и дислокационную структуру феррито-мартенситной малоуглеродистой и низколегированной марок сталей с целью повышения уровня их физико-механических свойств и других служебных характеристик.

**V.G. Razdobreev**

**Thin crystal structure low-carbon steels after deformational -thermal processing in an intercritical interval of temperatures**

**Summary**

The influence of modes of deformation and cooling on a thin crystalline structure and dislocation structure of ferrite-martensitic low-carbon and low-alloyed steels is established to provide a high level of physical-mechanical properties and other service characteristics.