

УДК 669-1:539.382.2

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНО-ДЕФОРМАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ У МІЖКРИТИЧНОМУ ІНТЕРВАЛІ ТЕМПЕРАТУР НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ТОВСТИХ ЛИСТІВ З НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ БУДІВЕЛЬНИХ СТАЛЕЙ

ЛАУХІН Д.В.¹, *д.т.н., проф.*

СУХОМЛИН Г.Д.², *д.т.н., с.н.с.*

БЕКЕТОВ О.В.³, *к.т.н., доц.*

ІВАНЦОВ С.В.⁴, *к.т.н., доц.*

ЩУДРО А.Є.⁵, *асп.*

ЛАУХІН В.Д.⁶, *м.н.с.*

¹ кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-72, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-9842-499X

² кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-72, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5840-169X

³ кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-72, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-1224-3355

⁴ кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-59-51, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-8715-0778

⁵ кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-72, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua

⁶ лабораторія експериментальних наукових досліджень, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-72, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6718-4639

Анотація. Мета. Дослідження впливу температурно-деформаційного режиму гарячої прокатки на структуру та властивості товстого листа з низьковуглецевих низьколегованих сталей. **Методика.** В якості матеріалу для дослідження були обрані низьковуглецеві мікролеговані сталі 09Г2С, 10Г2ФБ та 10ХСНД. В лабораторних умовах виконали термомеханічну прокатку вказаних сталей на прокатному стані ДУО 260. Досліджували мікроструктуру сталей, розмір феритного зерна до та після лабораторної прокатки, твердість даних сталей. **Результати.** Проведені дослідження показали зміни розміру феритного зерна в структурі металу до та після лабораторних прокаток та вплив термомеханічної обробки за вказаними у роботі режимами на значення твердості. **Наукова новизна.** За рахунок збереження стійкої полігональної субструктури аустеніту, що формується під час деформації у міжкритичному інтервалі, формування розвиненої субструктури фериту та перліту можливо підвищити та стабілізувати міцнісні властивості не тільки в сталях котрі містять карбідотворюючі елементи, але й в традиційних матеріалах без додаткового легування. **Практична значимість.** Вивчення процесів структуроутворення та вплив структури на механічні властивості після термомеханічної прокатки в лабораторних умовах дозволяє моделювати ці процеси та в подальшому пропонувати нові технологічні схеми виготовлення високоміцного прокату для будівництва в умовах вітчизняних металургійних заводів.

Ключові слова: термомеханічна обробка, структура, зерно фериту, твердість.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ДЕФОРМАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ В МЕЖКРИТИЧЕСКОМ ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ ИЗ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

ЛАУХИН Д.В.¹, *д.т.н., проф.*

СУХОМЛИН Г.Д.², *д.т.н., с.н.с.*

БЕКЕТОВ А.В.³, *к.т.н., доц.*

ИВАНЦОВ С.В.⁴, к.т.н., доц.
ЩУДРО А.Е.⁵, асп.
ЛАУХИН В.Д.⁶, м.н.с.

¹ кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-72, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-9842-499X

² кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-72, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5840-169X

³ кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-72, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-1224-3355

⁴ кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-72, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-8715-0778

кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-72, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua

⁶ лаборатория экспериментальных научных исследований, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-72, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6718-4639

Аннотация. *Цель.* Исследование влияния температурно-деформационного режима горячей прокатки на структуру и свойства толстого листа из низкоуглеродистых низколегированных сталей. *Методика.* В качестве материала для исследований были выбраны низкоуглеродистые микролегированные стали 09Г2С, 10Г2ФБ и 10ХСНД. В лабораторных условиях выполнили термомеханическую прокатку указанных сталей на прокатном стане ДУО 260. Исследовалась структура сталей, размер ферритного зерна до и после лабораторной прокатки, твердость данных сталей. *Результаты.* Проведенные исследования показали изменения размера ферритного зерна в структуре металла до и после лабораторных прокаток и влияние термомеханической обработки по указанным в работе режимам на значения твердости. *Научная новизна.* За счет сохранения устойчивой полигональной субструктуры аустенита, который формируется при деформации в межкритическом интервале, формирование развитой субструктуры феррита и перлита появляется возможность повысить и стабилизировать прочностные свойства не только в сталях содержащих карбидообразующие элементы, но и в традиционных материалах без дополнительного легирования. *Практическая значимость.* Изучение процессов структурообразования и влияние структуры на механические свойства после термомеханической прокатки в лабораторных условиях позволяет моделировать эти процессы и в дальнейшем предлагать новые технологические схемы изготовления высокопрочного проката для строительства в условиях отечественных металлургических заводов.

Ключевые слова: термомеханическая обработка, структура, зерно феррита, твердость.

THE EFFECT OF TEMPERATURE-DEFORMATION PROCESSING IN THE INTERCRITICAL TEMPERATURE RANGE ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THICK SHEETS OF LOW-CARBON BUILDING STEELS

LAUKHIN D.V.¹, *Doctor of Technical Sciences, Prof.*
SUKHOMLIN G.D.², *Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher*
BEKETOV A.V.³ *Ph. D., Assos. prof.,*
IVANTSOV S.V.⁴ *Ph. D., Assos. prof.,*
SCHUDRO A.E.⁵, *postgrad. stud.*
LAUKHIN V.D.⁶, *Junior scientist.*

¹ department of Material Science and Treatment of Materials, SHEE “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24^A, Chernishevskogo str., Dnipro, Ukraine, +38 (0562) 46-93-72, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-9842-499X

² department of Material Science and Treatment of Materials, SHEE “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24^A, Chernishevskogo str., Dnipro, Ukraine, +38 (0562) 46-93-72, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5840-169X

³ department of Material Science and Treatment of Materials, SHEE “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24^A, Chernishevskogo str., Dnipro, Ukraine, +38 (0562) 46-93-72, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-1224-3355

⁴ department of Material Science and Treatment of Materials, SHEE “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24^A, Chernishevskogo str., Dnipro, Ukraine, +38 (0562) 46-93-72, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-8715-0778

⁵ department of Material Science and Treatment of Materials, SHEE “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24^A, Chernishevskogo str., Dnipro, Ukraine, +38 (0562) 46-93-72, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua

⁶ Laboratory of experimental scientific research, SHEE “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24^A, Chernishevskogo str., Dnipro, Ukraine, +38 (0562) 46-93-72, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6718-4639

Abstract. Purpose. The influence of hot rolling end temperature on the structure and properties of thick sheet of low carbon microalloyed steels. **Methodology.** The material for the study were selected low-carbon microalloyed steel 09G2S, 10H2FB and 10HSND. In the laboratory performed thermomechanical rolling of these steel rolling mill at 260 DUO studied data structure steels, ferritic grain size before and after laboratory rolling steel hardness data. **Findings.** Studies have shown resizing ferritic grain structure of the metal before and after laboratory prokatom and impact for your thermomechanical processing in the modes mentioned in hardness. **Originality.** Due to persistent polygonal substructure stable austenite formed during deformation in intercritical range, developed substructure formation of ferrite and pearlite becomes possible to stabilize and increase the strength properties not only in steels that contain carbide elements, but also in traditional materials without additional alloying. **Practical value.** The study of structure formation processes and the impact of structure on mechanical properties after thermomechanical rolling in the laboratory to simulate these processes and to further offer new technological scheme of manufacturing high-hire for construction in terms of domestic steel mills.

Keywords: thermomechanical processing, structure, grain ferrite, hardness.

Вступ

Істотний попит на багатоповерхове будівництво та збільшення темпів будівництва в Україні формує необхідність застосування високоміцних будівельних сталей. Застосування таких сталей в каркасах дозволяє знизити масу конструкції майже на 50%, що істотно підвищує можливості збільшення поверховості споруд [4].

Виробництво на металургійних підприємствах України мікролегованих сталей, які відповідають сучасним нормам та стандартам щодо багатоповерхового будівництва є пріоритетною задачею сучасного матеріалознавства

Сучасні тенденції виробництва сталі показують, що більш економічним шляхом вдосконалення структури будівельних сталей у виробничому потоці, на відміну від виробництва сталі за технологією гарячої прокатки, є контрольована прокатка [2, 6, 9, 11, 13-15]. Процес контрольованої прокатки, на відміну від гарячої прокатки, передбачає більш жорсткий контроль температурно-деформаційних параметрів на всіх етапах виробництва

Роботи під керівництвом проф. Большакова В. І. направлені на удосконалення існуючих та запровадження нових сучасних режимів виробництва сталі (наприклад полігонізаційна контрольована прокатка) [3]. Особливостями такої прокатки є можливість отримувати більш дрібне зерно в поєднанні з розвиненою структурою доєвтектоїдного фериту, що гарантує стабілізування та підвищення механічних властивостей.

Мета роботи

Метою роботи є дослідження впливу температурно-деформаційного режиму гарячої прокатки на структуру та властивості товстого листа з низьковуглецевих низьколегованих сталей.

Матеріали та методика досліджень

Для дослідження були обрані низьковуглецеві низьколеговані сталі 09Г2С, 10Г2ФБ та 10ХСНД хімічний склад яких наведено у табл. 1.

Таблиця 1.

Хімічний склад сталей (вміст елементів мас,%) / The chemical composition of steel (mass content items,%)

Сталь	Елементи									
	C	Mn	Si	S	P	V	Nb	Cu	Cr	Ni
09Г2С	0,08	1,40	0,60	0,029	0,027	–	–	–	–	–
10Г2ФБ	0,10	1,83	0,18	0,005	0,015	0,088	0,022	–	–	–
10ХСНД	0,10	0,68	0,95	0,035	0,035	–	–	0,5	0,75	0,65

Сталі 09Г2С та 10ХСНД виробляють за технологією гарячої прокатки, а мікролеговану сталь 10Г2ФБ виготовляють за технологією контрольованої прокатки [6].

Механічні властивості сталей 09Г2С, 10Г2ФБ і 10ХСНД у стані постачання наведені у табл. 2.

Таблиця 2.

Механічні властивості сталей 09Г2С, 10Г2ФБ і 10ХСНД у стані постачання

Сталь	Границя плинності σ_T , МПа	Границя міцності σ_B , МПа	Відносне видовження δ , %	Ударна в'язкість КСV ²⁰ , Дж/ м ² ·10 ⁻⁴
09Г2С	305	460	22	165
10Г2ФБ	550	640	26	151
10ХСНД	390	590	20	155

Світлооптичні дослідження проводили на металографічному мікроскопі «Неофот-2». Шліфи для досліджень готувались згідно методик [1, 8, 10]. Розмір зерна визначали за методом січних [16]. Твердість сталі визначали за методом Роквелла.

Експериментальна частина

На прокатному стані ДУО 260 було здійснено експериментальну термомеханічну обробку за наступним режимом (рис. 1):

- 1) Карти-листи розміром 50x230x18,7 мм піддавали аустенітизації при температурі 950°C протягом 20 хвилин.
- 2) Гарячу деформацію здійснювали в міжкритичному інтервалі температур за 5 проходів з сумарним ступенем деформації 37,5%. Температура початку деформації складала 950...930°C, кінця деформації 730...740°C відповідно.
- 3) Після кінця прокатки карти охолоджували зі швидкістю $\approx 5^\circ\text{C}/\text{с}$.

Мікроструктурні дослідження карт листів у стані постачання (а, б, в) та після обробки за вказаним режимом (г, д, е) наведено на рис. 2

Як бачимо з рис. 2, структура досліджуваних сталей у стані постачання являє собою ферито-перлітний конгломерат. Структура сталі 10Г2ФБ (рис. 2 а) містить структурну неоднорідність у вигляді перлітних смуг, що є характерною ознакою товстих листів прокатних за технологією контрольованої прокатки.

Структура сталей 09Г2С та 10ХСНД, прокатаних за технологічною схемою гарячої прокатки характеризується більш вираженою ферито-перлітною смугастістю (рис. 2 б, в), при цьому у феритній складовій відсутні дислокаційні субграниці, а самі зерна фериту мають вищий бал у порівнянні із сталлю після контрольованої прокатки.

На рис. 2 г-е, представлені структури сталей, після лабораторної температурно-деформаційної обробки. Відсоткове співвідношення відповідних структурних складових наведено у табл. 3.

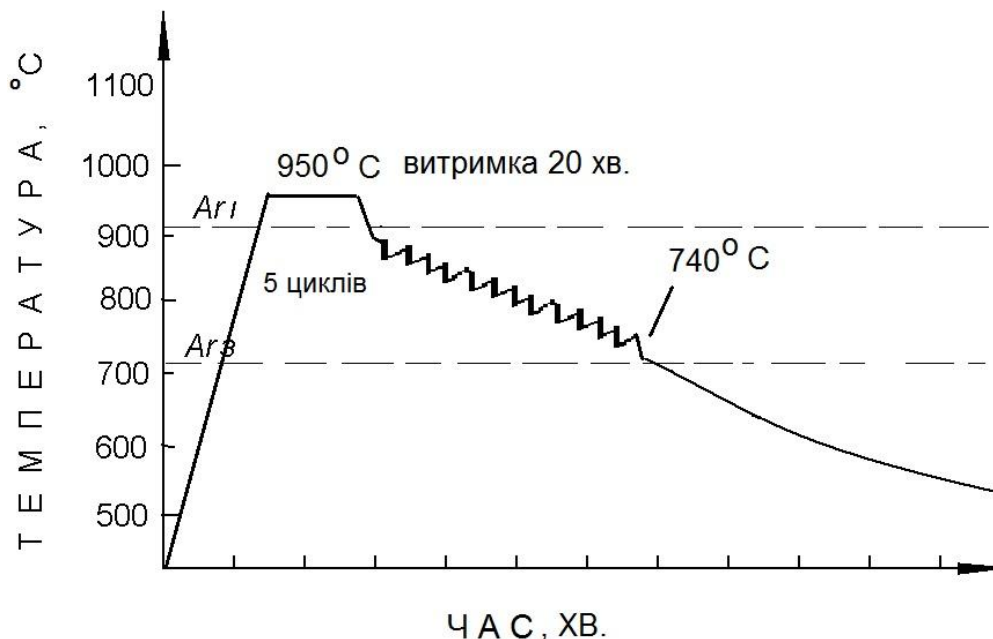


Рис. 1. Схема лабораторної прокатки карт-листів / Fig. 1. Scheme of laboratory rolling card lists

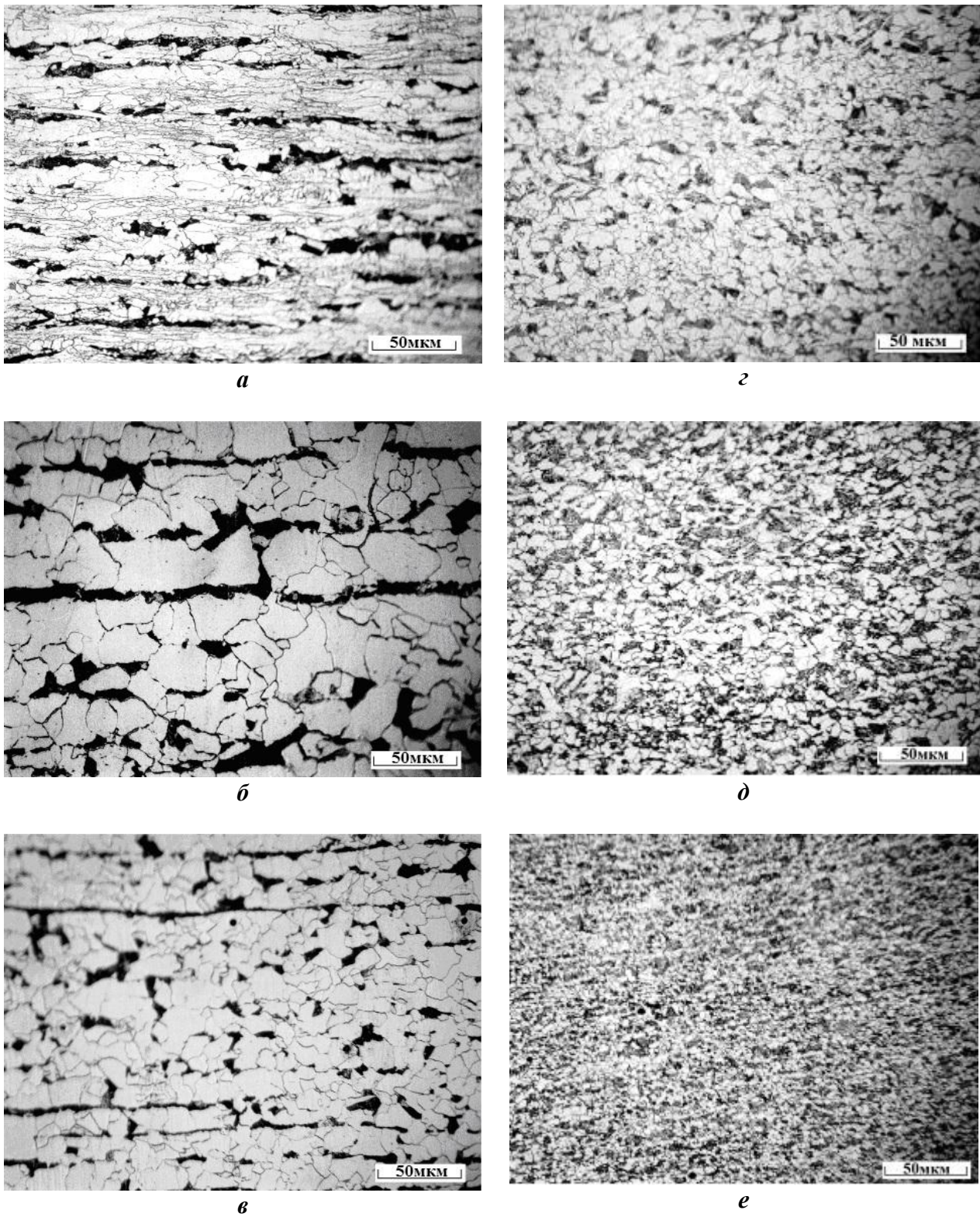


Рис. 2. Мікроструктура сталей: а, г – 10Г2ФБ; б, д – 09Г2С; в, е – 10ХСНД у стані постачання (ліворуч), та після лабораторної температурно-деформаційної обробки праворуч. / Fig. 2. The microstructure of steels: a, b – 10H2FB; c, d – 09G2S; e, f – 10HSND in a state of supply (left) and after laboratory temperature and deformation processing right.

Аналіз даних, представлених на рис. 2 та у табл. 3 показав, що для усіх сталей спостерігається зменшення або повне зникнення перлітної смугастості. З метою визначення впливу запропонованого режиму термо-деформаційної обробки було підраховано середні розміри зерен фериту за методами кількісного металографічного аналізу [16]. Результати виконаних розрахунків наведено у табл. 4.

Аналіз даних, що представлено у табл. 4 показав, що застосування експериментальної обробки призводить до значного зменшення розмірів феритної складової. Отримання дисперсного зерна фериту було здійснено за рахунок зниження температури кінця гарячої деформації (порівняно зі штатним режимом виробництва) до нижньої границі міжкритичного інтервалу температур. Такий режим призводить до зародження численних зерен доевтектної фериту не тільки на великокутових, але і на субзеренних границях аустеніту. Безперервна деформація металу в міжкритичному інтервалі температур, дозволяє пригнічити процеси рекристалізації в аустеніті, а в утворених дрібних зернах фериту сформувати додаткові малокутові субзеренні границі, що призводить до додаткового подрібнення структурних складових сталей [3].

З метою виявлення впливу зменшення розмірів зерен фериту на міцнісні властивості було здійснено вимірювання твердості за методом Роквелла (див. табл. 5).

Аналіз даних таблиці 5, дозволив відзначити підвищення твердості листів зі сталей 09Г2С, 10Г2ФБ та 10ХСНД після експериментальної обробки, порівняно зі штатною технологією. Разом з цим, отримані в структурі металопрокату складові можуть забезпечити значне збільшення в'язкісних показників. Завдяки застосуванню експериментальної термомеханічної обробки, виникає можливість отримувати дисперсну структуру в сталях зі зниженою ферито-перлітної смугастістю, та як наслідок підвищити механічні властивості не тільки у вздовж та поперек прокату, а й в Z-напрямку, за рахунок створення та збереження стійкої полігональної структури аустеніту, в дрібних зернах фериту формування додаткових малокутових субзеренних границь під час гарячої деформації у міжкритичному інтервалі температур. При цьому така схема прокатки поширюється і дає позитивний результат для товстолістового прокату зі сталей, які не містять кошових карбідотворюючих елементів [3].

Таблиця 3.

Кількісний аналіз структурних складових для сталей 09Г2С,10Г2ФБ і 10ХСНД у стані постачання та після лабораторної температурно-деформаційної обробки / Quantitative analysis of structural steel components for 09G2S, 10H2FB and 10HSND in the state of supply and after laboratory temperature and deformation processing

Сталь	Стан постачання			Після лабораторного експерименту		
	Ферит	Перліт	Бейніт	Ферит	Перліт	Бейніт
09Г2С	65	35	0	70	23	7
10Г2ФБ	60	40	0	65	28	7
10ХСНД	75	25	0	75	17	8

Таблиця 4.

Розмір зерен феритної складової для сталей 09Г2С,10Г2ФБ і 10ХСНД заводського виробництва та після лабораторної температурно-деформаційної обробки / The size of grains of ferritic steels component for 09G2S, 10H2FB and 10HSND factory production and after laboratory temperature and deformation processing

Сталь	Розмір зерен фериту після заводського виробництва, мкм	Розмір зерен фериту після лабораторного експерименту, мкм
09Г2С	27...40	9...13
10Г2ФБ	12...18	7...12
10ХСНД	15...23	5...9

Таблиця 5.

Середнє значення твердості сталей 10Г2ФБ, 09Г2С і 10ХСНД у стані постачання та після лабораторної температурно-деформаційної обробки / Average hardness steel 10H2FB, 09G2S and 10HSND in the state of supply and after laboratory temperature and deformation processing

Сталь	HRC, у стані постачання	HRC, після лабораторного експерименту
09Г2С	79,8	90,4
10Г2ФБ	82,3	92,3
10ХСНД	83,6	93,5

Наукова новизна і практична цінність

Регулювання процесами формування структурних і субструктурних компонентів за допомогою безперервного деформування у міжкритичному інтервалу температур та зниження температури кінця прокатки до нижньої границі, дає змогу поліпшити та стабілізувати механічні властивості товстолистового металопрокату для будівельних металевих конструкцій відповідального призначення.

Внаслідок збереження стійкої полігональної субструктури аустеніту, що формується під час деформації в МКІ, формування розвиненої субструктури фериту та перліту виникає можливість підвищити та стабілізувати міцнісні властивості не тільки в сталях котрі містять карбідоутворюючі елементи, але й в традиційних матеріалах без додаткового легування.

Висновки

Оптимальний комплекс механічних властивостей отримується коли феритна складова сталей має полігональну будову. Така структура може бути отримана шляхом зниження температурного

інтервалу проведення контрольованої прокатки до нижньої межі міжкритичного інтервалу. При таких умовах найбільш повно протікає полігонізація в фериті і, як наслідок, отримується розвинена кінцева ферито-перлітна структура.

Середній діаметр зерен фериту в структурах сталей після проведення експерименту зменшився в 2,5 – 3 рази для всіх сталей, в порівнянні зі структурами отриманими після виробництва за штатними технологіями, завдяки чому виникає можливість отримати необхідні механічні властивості товстолистового прокату для зварних металевих конструкцій сучасних багатоповерхових будинків та споруд.

Цілеспрямоване створення й збереження розвиненої структури фериту та запобігання процесам рекристалізації у будівельних сталях, дозволить розробити нові технологічні схеми виробництва товстолистового металопрокату для сучасного будівництва на металургійних комбінатах України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Беккерт М. Справочник по металлографическому травлению / Беккерт М. – М. : Металлургия, 1979. – 336 с. Режим доступу: <http://www.mash.oglib.ru/bgl/4907.html>
2. Бернштейн М.Л. Термомеханическая обработка стали / Бернштейн М.Л. Займовский В.А., Кашуткина Л.М. – М. : «Металлургия», 1983. – 480с. Режим доступу: www.twirpx.com/file/152515/
3. Большаков В. И. Полигонизация аустенита при контролируемой прокатке / В. И. Большаков, Д. В. Лаухин. – Днепропетровськ: ПГАСА, 2011. – 353 с.
4. Большаков В.И. Термомеханическая обработка конструкционных сталей. Канада.: Базилиан Пресс, 1998. – 316 с. Режим доступу: www.cgntb.dp.ua/book_gp_513.html
5. Большаков В.И. Экономические предпосылки применения стали повышенной прочности при реконструкции зданий первых массовых серий / В.И. Большаков, О.Ю. Щеглова, Д.А. Вязовая // Матеріалознавство та термічна обробка матеріалів. – 2003. – №2-3 – С 40-45.
6. Контролируемая прокатка / В. И. Погоржельский, Д. А. Литвиненко, Ю. А. Матросов, А. В. Иваницкий. – М. : Металлургия, 1979. – 183 с. Режим доступу: <http://www.library.dstu.edu.ua/indexing.php?r2=34683>
7. Попов А.А., Попова Л.Е. Справочник термиста. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита. – МАШГИЗ, 1961. Режим доступу: <http://lib-bkm.ru/load/88-1-0-1406>
8. Лаборатория металлографии / Панченко Е.В., Скаков Ю.А., Кример Б.И. и др. – М.: Металлургия, 1965. – 439 с. Режим доступу: <http://www.twirpx.com/file/665718/>
9. Малинов Л.С. Способы термообработки сталей с нагревом в межкритический интервал температур (МКИТ) для повышения их механических свойств. / Л.С. Малинов, О.А. Васенко, Д.В. Малинова // Металл и литье Украины. – 2012. – №1. – С. 18-22. Режим доступу: <http://www.metaljournal.com.ua>
10. Попилов Л.Я., Зайцева Л.П. Электрополирование и электротравление металлографических шлифов. - М.: Металлургия, 1955. - 311 с. Режим доступу: <http://www.library.dstu.edu.ua/indexing.php?r2=136927>
11. Спиваков В.И. Выбор рациональной схемы контролируемой прокатки листов с ускоренным охлаждением на реверсивном стане / В.И. Спиваков, Э.А. Орлов, И.В. Ганошенко // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. — Днепропетровськ.: ІЧМ НАН України, 2004. — Вип. 8. — С. 260-269.
12. Справочник по конструкционным материалам / [Арзамасов Б.Н., Герасимов С.А., Соловьева Т.В. и др.]: под ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2005. – 640 с. Режим доступу: http://techliter.ru/load/uchebniki_posobya_lekcii/spravochniki/konstrukcionnye_materialy_spravochnik_arzamasov_b_n_i_dr/47-1-0-183.
13. Матросов Ю. И. Контролируемая прокатка – многостадийный процесс ТМО низколегированных сталей/ Матросов Ю. И. // Сталь. – 1987. – №7. – С. 75–80. Режим доступу: <https://books.google.com.ua/books>
14. Чистяков Ю. И. Контролируемая прокатка толстых листов / Ю. И. Чистяков, В. И. Погоржельский, А. В. Правдин, А. Д. Вагин. – М. : Черметинформация, вып. 3., 1983. – 19 с. Режим доступу: <http://ntb.misis.ru:591/Opac/index.php?url=/auteurs/view/120607/source:default>

15. Morrison W.B., Chapman J.A. Controlled rolling Simposium Metals Society National Physical Laboratory and Royal Society, London, 1976. – P. 286-303.
16. ГОСТ 5639-82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна (с Изменением N 1). Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-5639-82>

REFERENCES

1. Bekkert M. Handbook on metallohrafycheskomu travlenyyu / Bekkert Moscow - Moscow: Metallurgy, 1979. - 336 p. Access: <http://www.mash.oglib.ru/bgl/4907.html>
2. Bernstein ML Termomehanycheskaya were obrabotku / Bernstein ML Zaymovskyy VA Kashutkina LN .. - M., "Metallurgy", 1983. - 480p. Access: www.twirpx.com/file/152515/
3. Bolshakov VI Polyhonyzatsyya austenite during controlled rolling / VI Bolshakov, DV Lauhin. - Dnipropetrovsk: PHASA, 2011. - 353 p.
4. Bolshakov VI Termomehanycheskaya obrabotku konstruktsyonnykh steels. Canada .: Basilian Press, 1998. - 316 c. Access: www.cgntb.dp.ua/book_gp_513.html
5. Bolshakov VI Economic predposylky Application povyshennoy prochnosty were deposited in the reconstruction of First massovykh Series / VI Bolshakov, A. Scheglova, DA Vyazovaya // Material and heat treatment of materials. - 2003. - №2-3 - С 40-45.
6. Kontrolyruemaya rolling / VI Pohorzhelskiy, DA Litvinenko, A. Matrosov, AV Yvanytskiy. - Moscow: Metallurgy, 1979. - 183 p. Access: <http://www.library.dstu.education/indexing.php?r2=34683>
7. Popov AA, Popov LE Directory termysta. Yzotermicheskiye and termokynetycheskiye dyahrammy decay pereohlazhdennoho austenite. - MASHNYZ, 1961. Access: <http://lib-bkm.ru/load/88-1-0-1406>
8. Laboratory metallohrafyy / Panchenko EV, race YA, Krymer BI et al. - M .: Metallurgy, 1965. - 439 p. Access: <http://www.twirpx.com/file/665718/>
9. Raspberry LS Methods termoobrabotky steels with the heating temperature in mezhkrytycheskiy interval (MKYT) to Increase s mechanical properties. / LS Raspberry, OA Vasenko, DV Crimson // casting metal and Ukraine. - 2012. - №1. - P. 18-22. Access: <http://www.metaljournal.com.ua>
10. Popylov LY, LP Zaitsev Электродирование and электроотравление metallohrafycheskiy of thin. - M .: Metallurgy, 1955. - 311 p. Access: <http://www.library.dstu.education/indexing.php?r2=136927>
11. Spivakov VI Choice ratsyonalnoy scheme controlled rolling sheets with reversible cooling uskorennyy Condition / VI Spivakov, EA Orlov IV Hanoshenko // Fundamentalnye and prykladnye problems chernoy Metallurgy: Sat. Nauchn. tr. - Dnepropetrovsk .: ICHM Sciences of Ukraine, 2004. - Vol. 8. - P. 260-269.
12. Handbook on Material konstruktsyonnyy / [Arzamasova BN, Gerasimov SA, Solovyov TV et al.] under. Ed. BN Arzamasova. - M .: Izd Bauman them. Bauman, 2005. - 640 p. Access: http://techliter.ru/load/uchebniki_posobya_lekcii_spravochniki_konstrukcionnye_materialy_spravochnik_arzamasov_b_n_i_dr/47-1-0-183.
13. Matrosov YI Kontrolyruemaya rolling - mnohostadyunyy process TMO nuzkolehuyovannykh steel / Matrosov YI // Steel. - 1987. - №7. - P. 75-80. Access: <https://books.google.com.ua/books>
14. Chistyakov Yuri I. Kontrolyruemaya tolstykh rolled sheets / YI Chistyakov, VI Pohorzhelskiy, AV Prav, AD vagina. - Moscow: Chermetyinformatsyya, Vol. 3, 1983. - 19 sec. Access: <http://ntb.misis.ru:591/Opac/index.php?url=/auteurs/view/120607/source:default>
15. Morrison W.B., Chapman J.A. Controlled rolling Simposium Metals Society National Physical Laboratory and Royal Society, London, 1976. - P. 286-303.
16. ГОСТ 5639-82. Steels and alloys. Methods Identify and definitions velychyny grain (s Changes N 1). Access: <http://docs.cntd.ru/document/gost-5639-82>

Статья рекомендована к публикации д-рами техн. наук, В.И. Большаковым и В.Н. Волчуком.