

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



МАТЕРІАЛОЗНАВЧІ ОСНОВИ ПОЛІГОНІЗАЦІЇ АУСТЕНІТУ ПРИ КОНТРОЛЬОВАНІЙ ПРОКАТЦІ

Навчальний посібник

Дніпро
НТУ «ДП»
2024

УДК 621.77:669.15-194:620. 18

М 34

*Рекомендовано вченою радою НТУ «Дніпровська політехніка»
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра
спеціальності 132 Матеріалознавство
(протокол № 8 від 27.06.2024)*

Рецензенти:

В.С. Вахрушева – д-р техн. наук, проф. (Український державний університет науки і технологій);

О.І. Бабаченко – д-р техн. наук (Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України)

Автори: Д.В. Лаухін, О.В. Бекетов, К.А.Зіборов, С.О. Федоряченко, М.Д. Мельничук, Н.О. Ротт, І.М. Мацюк, Л.М. Дадіверіна, Д.В. Гаркавенко, В.І. Козечко

М34 **Матеріалознавчі** основи полігонізації аустеніту при контрольованій прокатці [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Д. В. Лаухін, О. В. Бекетов, К. А. Зіборов, С. О. Федоряченко, М. Д. Мельничук, Н. О. Ротт, І. М. Мацюк, Л. М. Дадіверіна, Д. В. Гаркавенко, В.І. Козечко ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2024. – 282 с.

Зміст видання відповідає освітньо-професійній програмі підготовки магістрів спеціальності 132 «Матеріалознавство» та робочій програмі навчальної дисципліни «Сучасні технології отримання і оброблення матеріалів».

Розглянуто теоретичні основи технології контрольованої прокатки, зокрема описано процеси формування мікро- і субструктури товстолистого прокату з низьковуглецевих мікролегованих сталей. Описано різні режими контрольованої прокатки та їхній вплив на експлуатаційні властивості сталей, зокрема в застосуванні до будівельної галузі.

Для науковців і фахівців-матеріалознавців, а також для викладачів, аспірантів і здобувачів вищої освіти. У виданні сформульовано навчальні цілі змістових модулів, що окреслюють навички та вміння магістра з матеріалознавства.

УДК 621.77:669.15-194:620. 18

© Лаухін Д.В., Бекетов О.В., Зіборов К.А.,
Федоряченко С.О., Мельничук М.Д., Ротт Н.О.,
Мацюк І.М., Дадіверіна Л.М., Гаркавенко Д.В.,
Козечко В.І., 2024

© НТУ «Дніпровська політехніка», 2024

ЗМІСТ:

ВСТУП.....	7
ГЛАВА 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИСОКОМІЦНОГО ТОВСТОЛИСТОВОГО МЕТАЛОПРОКАТУ ДЛЯ СУЧАСНОГО БУДІВНИЦТВА.....	9
1.1. КОНЦЕПЦІЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТА НАДБУДОВИ МАЛОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ У ЦЕНТРАЛЬНИХ РАЙОНАХ МІСТ	9
1.2. СУЧАСНІ ВИМОГИ ДО МЕТАЛУ ДЛЯ ЖИТЛОВОГО ТА ЦИВІЛЬНОГО БУДІВНИЦТВА.....	13
1.3. МАТЕРІАЛОЗНАВЧІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ КОНТРОЛЬОВАНОЇ ПРОКАТКИ	18
1.4. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ КОНТРОЛЬОВАНОЇ ПРОКАТКИ НА ВІТЧИЗНЯНИХ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ.....	20
1.5. АНАЛІЗ СВІТОВОГО ДОСВІДУ ВИРОБНИЦТВА КОНСТРУКЦІЙНИХ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ	23
КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ	37
ГЛАВА 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МАТЕРІАЛУ ДЛЯ КАРКАСНОГО БУДІВНИЦТВА	40
2.1. ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОМІЦНОГО МЕТАЛОПРОКАТУ В КОНСТРУКЦІЯХ ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ АБО ВЕЛИКОПРОЛІТНИХ СПОРУД.....	40
2.2. ХІМІЧНИЙ СКЛАД, МЕХАНІЧНІ Й ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ДОСЛІДЖУВАНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	45
2.3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ	52
2.4. ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРОКАТУ	52
2.5. СВІТЛОВА ОПТИЧНА МІКРОСКОПІЯ.....	53
2.6. СТВОРЕННЯ УМОВ ОСВІТЛЕННЯ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ ГРАНИЦЬ НА ОПТИЧНИХ ЗНІМКАХ	54
2.7. ЗЙОМКА В ІМЕРСІЙНИХ СЕРЕДОВИЩАХ	56

2.8. ПРОСВІЧУЮЧА І СКАНУЮЧА ЕЛЕКТРОННА МІКРОСКОПІЯ.....	57
2.9. ЕНЕРГОДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ (EDX АНАЛІЗ).....	67
КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ	73
ГЛАВА 3. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ФОРМУВАННЯ	
СТРУКТУРИ І ПОЛІГОНАЛЬНОЇ СУБСТРУКТУРИ В	
ТОВСТОЛИСТОВОМУ МЕТАЛОПРОКАТІ З	
НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ МІКРОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ.....	78
3.1. ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ АУСТЕНІТУ ПРИ НАГРІВІ СТАЛІ	78
3.2. АНАЛІЗ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ АУСТЕНІТУ ПЕРЕД	
ПОЧАТКОМ ГАРЯЧОЇ ДЕФОРМАЦІЇ	87
3.3. ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НАГРІВАННЯ ПЕРЕД ПРОКАТКОЮ НА РІСТ	
ЗЕРЕН АУСТЕНІТУ В НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ	
СТАЛЯХ.....	89
3.4. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ФЕРИТНОЇ СКЛАДОВОЇ	
МІКРОСТРУКТУРИ СТАЛІ МАРОК 09Г2С І 10Г2ФБ ПІСЛЯ	
ПРИСКОРЕНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ.....	120
3.5. ЗМІНА ТВЕРДОСТІ ЗА ТОВЩИНОЮ ТЕРМООБРОБЛЕНОГО ЛИСТА.....	128
3.6. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ГАРЯЧОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ	
КОНТРОЛЬОВАНИЙ ПРОКАТЦІ СТАЛІ 08Х18Н10Т.....	135
3.7. ВПЛИВ ТРИВАЛОСТІ ПІСЛЯДЕФОРМАЦІЙНИХ ПАУЗ НА	
ФОРМУВАННЯ СУБЗЕРЕННОЇ СТРУКТУРИ АУСТЕНІТУ В СТАЛІ	
10Г2ФБ.....	145
3.8. ПОЛІГОНІЗАЦІЯ ТА ЇЇ ЕВОЛЮЦІЯ ПРИ РЕКРИСТАЛІЗАЦІЇ.....	152
3.9. АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ ПОЛІГОНАЛЬНИХ І ВЕЛИКОШКУТОВИХ	
ГРАНИЦЬ У СТРУКТУРІ ГАРЯЧЕДЕФОРМОВАНОГО ФЕРИТУ	157
3.10. ФОРМУВАННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ ГРАНИЦЬ У ФЕРИТІ З ПОЗИЦІЇ	
СУЧАСНОЇ ТЕОРІЇ РСУ В НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЯХ	
ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА	169

3.11. Вплив відхилень технологічних параметрів прокатки на формування субзернистої структури фериту в готовому листі з позиції сучасної теорії РСУ	177
Контрольні питання	183
ГЛАВА 4. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ КОНТРОЛЬОВАНОЇ ПРОКАТКИ ТОВСТОГО ЛИСТА, З МЕТОЮ СТАБІЛІЗАЦІЇ І ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО МЕХАНІЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ	189
4.1. АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТІ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ ВІД ТЕМПЕРАТУРНО-ДЕФОРМАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ГАРЯЧОЇ ПРОКАТКИ	189
4.2. Вплив тривалості післядеформаційної паузи на формування структури аустеніту й фериту в товстолистовому прокаті.....	199
4.3. Вплив збільшення кількості циклів гарячої прокатки в чорновій клітці й післядеформаційного охолодження на формування структури та механічних властивостей сталі 10Г2ФБ.....	207
4.4. Вплив зниження температури кінця деформації у чорновій клітці на формування комплексу властивостей у товстолистовому прокаті.....	213
4.5. Вплив дрібкості деформації в чорновій клітці та зниження вмісту вуглецю в сталях, мікролегованих ніобієм і ванадієм, на формування структури й комплексу властивостей прокату.....	221
Контрольні питання	227
ГЛАВА 5. ПРОМИСЛОВЕ ВИПРОБУВАННЯ РЕЖИМУ КОНТРОЛЬОВАНОЇ ПРОКАТКИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ В	

ТОВСТОЛИСТОВОМУ ПРОКАТІ НЕОБХІДНИЙ КОМПЛЕКС МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ	230
5.1. Створення в промислових умовах температурно- деформаційних параметрів контрольованої прокатки, які сприяють зародженню фериту на полігональних границях аустеніту	230
5.2. Промислова апробація запропонованого режиму гарячої деформації при виготовленні товстолистого металопрокату для будівельних конструкцій	236
5.3. Структура і тонка структура листів з низьковуглецевої сталі, виготовлених за запропонованим режимом прокатки.....	243
5.4. Вплив зниження перлітної складової на значення ударної в'язкості низьковуглецевих низьколегованих будівельних сталей	248
Контрольні питання	252
ЛІТЕРАТУРА.....	255
ДОДАТОК А.....	258

ВСТУП

Інтерес до використання високоміцних сталей у висотному будівництві постійно зростає, це пов'язано насамперед з розміщенням нових об'єктів, як правило, у центральних районах міст, де вартість землі висока, а площі, придатні для зведення будівель досить обмежені. Причому використання для будівництва таких об'єктів з традиційних залізобетонних конструкцій не завжди можливе через брак потрібних властивостей останніх. У зв'язку з цим будівництво об'єктів підвищеної поверховості зазвичай ведеться тільки з використанням у конструкціях високоміцного сталевого каркаса.

Як відомо, нове житло будують не тільки на нових площах, але і в районах розміщення старих об'єктів шляхом нарощування на них багатьох нових поверхів. І тоді монтують металевий каркас, який, спираючись на власний фундамент, опоясує стару будівлю, не передаючи на неї свого навантаження.

Існує економічна доцільність використовувати для виготовлення таких каркасів високоміцні низьковуглецеві мікролеговані сталі. Сам цей матеріал підходить до надбудови наявних об'єктів з метою підвищення їхньої поверховості як більш міцний, порівняно зі сталями, традиційно вживаними в будівництві, зокрема залізобетоном. Крім того, використання високоміцного металопрокату в конструкціях каркаса будівлі дозволяє вести її монтаж у вигляді великих блоків, що скорочує загальний термін робіт і знижує ціну 1 м² житлової площі.

Треба зауважити, що сучасні будівельні сталі, не повною мірою відповідають вимогам до матеріалів для каркасів сучасних висотних або великопролітних споруд. Товстолистовий металопрокат, який випускають вітчизняні металургійні комбінати, характеризується нерівномірністю міцнісних і пластичних властивостей різних ділянок виробу. Значення характеристик міцності вздовж прокатки порівняно з Z-напрямком можуть відрізнятися в 1,5...2 рази. Відомо, що анізотропія характеристик міцності й пластичності є наслідком грубої ферито-перлітної смугастості структури товстого

гарячекатаного листа. Отже, структурна неоднорідність матеріалу, разом з формуванням зони осьової ліквіації, призводить до зниження в'язкісних характеристик виробів, знижує експлуатаційну надійність металевого каркаса та всієї будівлі.

Як бачимо, виробництво високоміцного товстолистого металопрокату для конструкцій каркасів висотних і великопролітних споруд, набуває суттєвого значення, бо цей матеріал має високі показники міцності й пластичності в трьох напрямках, завдяки створенню розвинутої субзернистої структури. При цьому для даного виробництва потрібна модернізація наявного на підприємствах устаткування.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Лаухін Д. В. Атлас металів і сплавів. Навчальний посібник [для студ. вищ. навч. зак.] / В. І. Большаков, Г. Д. Сухомлин, Д. В. Лаухін. – Дніпропетровськ: ДВНЗ «ПДАБА», 2010. – 174 с.
- 2 Большаков В. І. Полігонізація аустеніту при контрольованій прокатці. / В. І. Большаков, Д. В. Лаухін. – Дніпропетровськ: ДВНЗ «ПДАБА», 2011. – 353 с.
- 3 Лаухін Д. В. Формування структур полігонізації і рекристалізації в аустеніті і фериті при контрольованій прокатці низьковуглецевих мікролегованих сталей / Д. В. Лаухін // Новини науки Придніпров 'я. – 2011. – №1. – С. 15-24.
- 4 Формування структури і субструктури гарячедеформованого аустеніту при контрольованій прокатці низьковуглецевих сталей / В. І. Большаков, Д. В. Лаухін, Г. Д. Сухомлин та ін. // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. – 2010. – Вид. 53. – С. 153-161.
- 5 Вплив температурно-деформаційних параметрів вальцювання на процеси формування та дроблення ферито-перлітної структури в низьковуглецевих мікролегованих сталях / В. І. Большаков, А. В. Мурашкин, Г. Д. Сухомлин, Д. В. Лаухін та ін. // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2010. – №1. – С. 25-29.
- 6 Дослідження впливу температурно-деформаційних параметрів чорнової прокатки на процеси формування і дроблення перлітової смугастості в сталях типу 10Г2ФБ / В. І. Большаков, Г. Д. Сухомлин, Д. В. Лаухін та ін. // Theoretical Foundation of Civil Engineering : Polish - Ukrainian - Lithuanian Transactions. – 2010. – Vol. 18. – P. 439-444.
- 7 Лаухін Д. В. Формування полігонізованої структури гарячедеформованого аустеніту для забезпечення в товстолистовому прокаті високого комплексу властивостей в трьох напрямках / Д. В. Лаухін // Новини науки Придніпров 'я. – 2011. – №2. – С. 41-50.

8 Оцінка числа додаткових центрів кристалізації для отримання заданої міри дисперсності структури / А. І. Троцан, В. В. Каверинський, І. Л. Бродецький // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. – 2011. – Вид. 58. – С. 690-694.

9 Механізм зародження і росту перлітових колоній / В. І. Большаков, А. В. Бекетов, Г. Д. Сухомлин та ін. // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. – 2010. – Вид. 53. – С. 173-179.

10 Опис і ріст перлітових колоній / В. І. Большаков, В. І. Куксенко, Г. Д. Сухомлин, А. В. Бекетов Д. В. Лаухін та ін. // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – №1. – 2010. – С. 29-35.

11 Орієнтаційні співвідношення ферит-цементит / В. І. Большаков, Г. Д. Сухомлин, Д. В. Лаухін та ін. // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. – 2011. – Вид. 58. – С. 123-129.

12 Лаухін Д. Орієнтаційні співвідношення ферит-цементит / В. Большаков, Г. Сухомлин, Д. Лаухін, А. Бекетов // Theoretical Foundation of Civil Engineering : Polish - Ukrainian Transactions. – 2011. – Vol. 19. – P. 351(358).

13 Мішків Ю. Нові підходи до оцінки комплексу механічних властивостей конструкційних сталей / Сергій Котречко, Юрій Мішків // Металофізики і новітні технології. – 2009. – Т. 31, № 3. – С. 367-380.

14 Мішків Ю. Я. Гранична міцність. Кристали, метали, конструкції / С. А. Котречко, Ю. Я. Мішків. – Д. : Наукова думка, 2008. – 295 с.

15 Вплив режимів контрольованої прокатки на структуру і властивості низьковуглецевої мікролегованої сталі 10Г2ФБ / В. І. Большаков, Г. Д. Сухомлин, Д. В. Лаухін та ін. // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. – 2009. – Вид. 48, Ч. 3. – С. 237-242.

16 Інноваційна технологія виробництва товстих листів – полігонізаційна прокатка / В. І. Большаков, Г. Д. Сухомлин, Д. В. Лаухін та ін. // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. – 2011. – Вид. 59. – С. 145-151.

17 Пат. 56680 Україна, МПК В21В 1/00. Спосіб виготовлення листового прокату з низьковуглецевої мікролегованої сталі / Большаков В. І., Кліманчук В.

В., Носенко О. П., Сухомлин Г. Д., Лаухін Д. В., Мурашкін О. В., Пушків В. В., Куксенко В. І. Заявник та патентоутримувач ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури». – №U 201007732, заяв. 21. 06. 2010, опубл. 25. 01. 2011, Бюл. №2.

18 Пат. 57579 Україна, МПК В21В 1/00. Спосіб виготовлення листового прокату з низьковуглецевої мікролегованої сталі / Большаков В. І., Кліманчук В. В., Носенко О. П., Сухомлин Г. Д., Лаухін Д. В., Мурашкін О. В., Пушків В. В., Куксенко В. І. Заявник та патентоутримувач ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури». – № U 201007780, заяв. 21. 06. 2010, опубл. 10. 03. 2011, Бюл. №5.

19 Вітрил В. В. Прокат високоміцних кріпильних виробів з вмістом бору / Вітрил В. В., Вітрил О. В., Сичков А. Б. – Дніпропетровськ: АРТ-ПРЕС, 2010. – 160 с.

Навчальне видання

Лаухін Дмитро Вячеславович
Бекетов Олександр Вадимович
Зіборов Кирило Альбертович
Федоряченко Сергій Олександрович
Мельничук Микола Дмитрович
Ротт Наталія Олександрівна
Мацюк Ірина Миколаївна
Дадіверіна Лілія Миколаївна
Гаркавенко Дмитро Васильович
Козечко Валентин Іванович

**МАТЕРІАЛОЗНАВЧІ ОСНОВИ ПОЛІГОНІЗАЦІЇ АУСТЕНІТУ
ПРИ КОНТРОЛЬОВАНІЙ ПРОКАТЦІ**

Навчальний посібник

Видано в авторській редакції.

Електронний ресурс.
Підписано до видання 27.06.2024. Авт. арк. 13,7.

Підготовлено до видання
в Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка»
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК №1842 від 11.06.2004 р.
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.