

ЕФЕКТИВНІСТЬ ШВИДКІСНОГО НАГРІВУ І ОХОЛОДЖЕННЯ ПРИ РЕКРИСТАЛІЗАЦІЙНОМУ ВІДПАЛІ ЗАГОТОВОК ІЗ ТОНКОЛИСТОВОЇ ХОЛОДНОКАТАНОЇ СТАЛІ ДВЗ¹³

**Войтенко Е.В., магістр групи МС-55-23, Сазонов О.В. аспірант
Харківський національний автомобільно-дорожній університет**

***Анотація.** Розроблена технологія знеміцнювального швидкісного рекристалізаційного відпалу холоднокатаного тонколистового прокату сталі 50 для поліпшення технологічної пластичності при збереженні міцності заготовок, що призначені для виготовлення виробів способами холодного пластичного деформування.*

***Ключові слова:** холоднокатаний тонколистовий прокат, сталь 50, рекристалізаційний відпал, швидкісний нагрів швидкісний нагрів, швидке охолодження, мікроструктура, механічні властивості, здатність до штампування*

EFFICIENCY OF RAPID HEATING AND COOLING DURING RECRYSTALLIZATION ANNEALING OF BILLET MADE OF THIN SHEET COLD ROLLED STEEL

**Voitenko E., master of group Mc-55-23, Sazonov O., graduate student
Kharkiv National Automobile and Highway University**

***Abstract.** The technology of de-alloying high-speed recrystallisation annealing of cold-rolled thin-sheet steel 50 was developed to improve the technological plasticity while maintaining the strength of billets intended for the manufacture of products by cold plastic deformation.*

***Key words:** cold-rolled thin sheets, steel 50, recrystallisation annealing, high-speed heating, rapid cooling, microstructure, mechanical properties, stamping ability*

Вступ

Тонколистовий холоднокатаний прокат застосовується у всіх галузях народного господарства при виготовленні виробів методами холодного деформування для їх формоутворенні, що дозволяє значно підвищити коефіцієнт використання металу при суттєвій його економії.

В останні роки в умовах посилення вимог стандартів до показників якості металопродукату актуальною є проблема забезпечення потреб машинобудівників у холоднокатаному тонколистовому прокаті з підвищеною технологічною пластичністю та здатності до глибокого витягування, але із збереженням його достатньої міцності у зв'язку з ускладненням конструкції виробів та умов їх експлуатації, а також з розширенням споживання у різних важливих галузях сучасної промисловості. При цьому не менш актуальним є зменшення експлуатаційних витрат при його виготовленні, зростання продуктивності, зниження металоємності, економія електроенергії та природного газу, що дуже важливо для нашої країни в теперішній час.

¹³ Робота виконана під керівництвом професора Дощечкіної І.В.

Аналіз публікацій

На вітчизняних металургійних комбінатах висока технологічна пластичність холоднокатаного наклепаного прокату забезпечується рекристалізаційним відпалом рулонного листа в садкових ковпакових печах періодичної дії [1-4]. Ця термічна обробка є найбільш тривалою, енергоємною операцією у виробничому циклі холоднокатаної листової сталі і має суттєві недоліки: нерівномірність нагріву рулонів і неоднорідність структури і властивостей, злипання витків в рулоні, погана якість поверхні [5]. Усі ці недоліки суттєво погіршують якість штампування виробів, що призводить до відчутних економічних втрат. Для покращення здатності до холодного деформування заготовок із вже готового листа та зменшення браку ковпакові печі рулонної обробки листа не придатні, а іншого методу не існує.

Кардинальним кроком в напрямку вдосконалення як технології знеміцнювальної термообробки холоднокатаних листів, так і обладнання для її реалізації, є використання безперервного швидкісного рекристалізаційного відпалу [6]. Враховуючи, що загальна тривалість відпалу (нагрів, видержка, охолодження) залежать не тільки від маси металу, а також від температурно - часових параметрів при використанні того чи іншого виду обладнання (садкові печі періодичної дії або неперервний швидкісний нагрів), які значною мірою визначають швидкість перебігу процесів структуроутворення під час відпалу. Саме вирішенню питань забезпечення умов проходження рекристалізаційних при контактному нагріві і охолодженні холоднодеформованого листа, впливу температурно - часових параметрів на формування структури з певним розміром зерна і комплексу властивостей, що відповідають стандартизованим показникам, і присвячена дана робота. Покращення якості листа при зменшенні його собівартості. є актуальним і важливим для практики листового холодного штампування виробів.

Мета роботи і завдання

Мета роботи –розробка технології швидкісного неперервного рекристалізаційного відпалу холоднокатаного листа із сталі 50 з використанням безперервного швидкого нагріву та охолодження.

Для досягнення поставленої мети сформульовані завдання:

1. Дослідити вплив швидкості та температури нагріву, видержки, швидкості охолодження на формування структури та властивостей при безперервному швидкісному рекристалізаційному відпалі.
2. Визначити оптимальні температурно - часові параметри швидкісного контактного нагріву та охолодження для отримання комплексу властивостей у сталі 50 на рівні після ковпакового відпалу, які відповідають нормативним вимогам ДСТУ 2834-94 «Прокат тонколистовий з вуглецевої сталі якісної та звичайної якості загального призначення.»

Матеріал і методи дослідження

Матеріалом для досліджень була конструкційна сталь 50, хімічний склад якої наведений в табл. .1.

Досліджувались стрічки сталей в холоднокатаному нагартваному стані із різним ступнем деформації. Розміри і властивості стрічок наведені у табл. 2.

Відпрацювання та апробацію режимів безперервного швидкісного відпалу сталевих стрічок проводили Розробка температурно - часових параметрів відпалу проводилася в лабораторних умовах на зразках шириною 12,5 мм і довжиною 120 мм. умовах стрічкові Заготовки сталі відпалювали на установці, яка дозволила імітувати параметри процесів контактного теплообміну.

Таблиця 1 – Хімічний склад досліджуваної сталі

Сталь	C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	S, %	P, %	Ni, %	Cu, %
50	0,52	0,25	0,65	0,25	0,040	0,035	0,25	0,20

Таблиця 2 – Товщина і властивості досліджуваних стрічок

Марка сталі	Товщина, мм	Ступінь обтиснення, %	Бв, МПа	δ, %	Мікротвердість Н _μ , 200
50	0,25	60	860	2	274
	0,5	50	820	2,4	
	1,0	42	810	2.2	

Ефективність термообробки оцінювали за мікроструктурою сталі і комплексом мех. анічних властивостей. Вивчали мікроструктуру у відбитому світлі за допомогою металографічного мікроскопа UIT MicroMet – I-102 BD.

Механічних характеристики (Бв, Б_{0,2}, δ,) визначали на плоских зразках, які вирізалися уздовж лінії прокатки і підлягали випробуванням на розтяг у відповідності до існуючих стандартів з використанням електромеханічної машини UIT - STM - 50 .

Мікротвердість вимірювали за допомогою твердоміру мікро-Віккерса UIT-HV.

Результати дослідження

Зразки досліджуваних марок сталей нагрівали в інтервалі температур від 450 до 720 °С. Швидкість нагріву становила 80 °С/с, видержка не більше 1 с, швидкість охолодження – 25 °С/с.

У табл. 3 представлені результати досліджень залежності механічних властивостей відпалених стрічок від температури нагріву у вказаному інтервалі. Встановлено, що зі зростанням температури до 650 °С спостерігається процес рекристалізації сталей.

Таблиця 3 – Механічні властивості сталевих стрічок зі сталі 50 в залежності від температури нагріву

t, °С	Товщина стрічки, мм								
	0,25			0,5			1,0		
	Механічні властивості								
	Бт, МПа	Бв, МПа	δ, %	Бт, МПа	Бв, МПа	δ, %	Бт, МПа	Бв, МПа	δ, %
450	800	830	3,0	810	845	3,0	815	845	3,0
500	700	785	3,5	710	790	3,5	715	790	3,0
550	605	720	8,0	615	730	7,5	614	730	7,5
600	540	615	15,5	550	625	15,0	555	630	15,0
650	485	580	23,0	495	575	22,5	500	580	22,5
700	480	570	23,0	485	575	23,5	480	575	23,0
720	480	570	25,0	484	575	23,5	480	572	23,0

Після нагріву від 700 °С до 720 °С механічні властивості стрічок практично не змінюються, що свідчить про завершення процесу первинної рекристалізації сталі. Це

підтверджується плавним характером кривої переходу від нагартованого до знеміцненого стану (рис. 4).

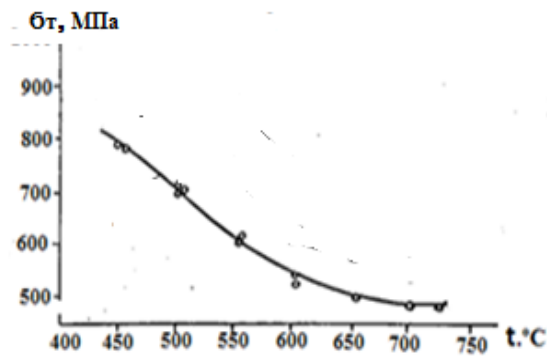


Рисунок 4 – Залежність механічних властивостей стрічок товщиною 0,25 мм від температури нагріву

Мікроструктура відпалених стрічок при 700 °C складається з повністю рекристалізованих дрібних зерен (бал 8) фериту і перліту (рис. 5, а). Збільшення температури до 720 °C не приводить до суттєвих змін мікроструктури (рис. 5, б). Отже раціональними температурами рекристалізаційного відпалу сталі 50 є інтервал від 680 до 700 °C .

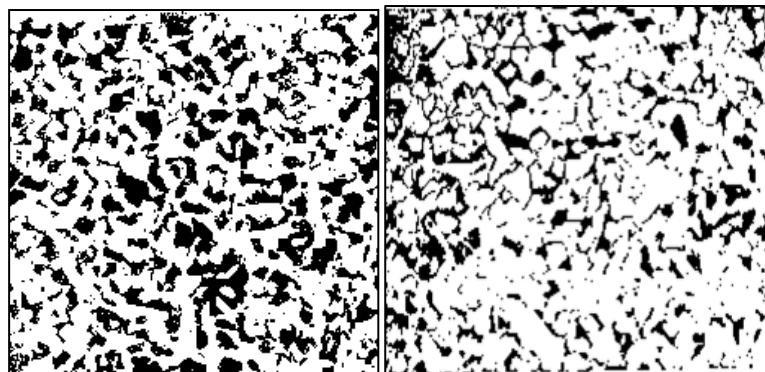


Рисунок 5 – Мікроструктура стрічок, що відпалені при 700 °C (а) та 720 °C (б), ×650

Варіювання швидкості нагріву в діапазоні від 40 до 160 °C /с для стрічок досліджуваної товщини не позначилося на змінах мікроструктури та механічних властивостей (рис. 6).

В результаті досліджень виявлено, що видержки до 60 с при температурі відпалу 700 °C достатньо для завершення процесів первинної рекристалізації в усіх досліджуваних стрічок різної товщини. Металографічним аналізом зафіксована дрібнозерниста структура, що відповідає 8 балу, яка згідно [2,7] забезпечує найкращу здатність сталі до холодної пластичної деформації.

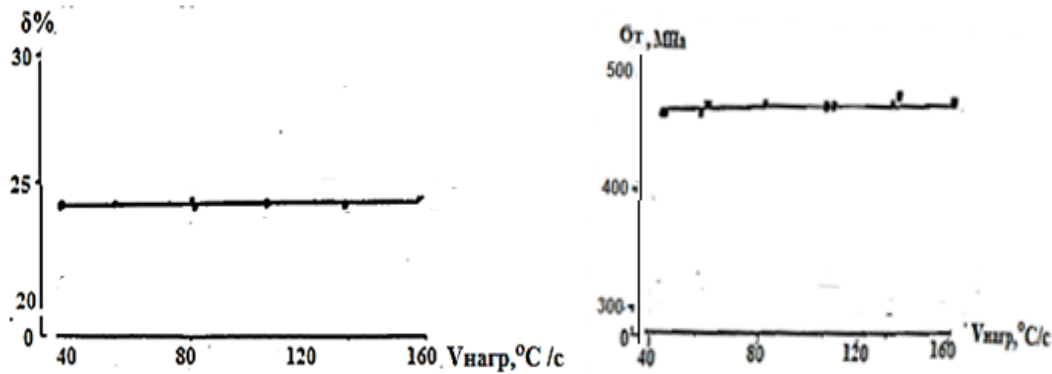


Рисунок 6 – Залежність механічних властивостей від швидкості нагріву до 700 °С

У табл. 4 наведені результати механічних характеристик відпалених стрічок в залежності від швидкості охолодження, яка змінювалася в інтервалі від 15 до 200 °С/с.

Таблиця 4 – Залежність механічних властивостей сталевих стрічок від швидкості охолодження при відпалі при 700 °С при $V_{нагр} = 50 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{c}$ і $\tau \sim 60 \text{ c}$)

Марк а сталі	Товщина листа, мм	Швидкість охолодження								
		15 °С/с			25 °С/с			50 °С/с		
		Механічні властивості								
		Бт, МПа	Бв, МПа	δ, %	Бт, МПа	Бв, МПа	δ, %	Бт, МПа	Бв, МПа	δ, %
50	0,25	475	570	24,0	480	575	23,0	490	586	23,0
	0,5	500	725	25,0	500	730	25,0	510	740	24,0
	1,0	505	675	25,0	510	680	24,0	520	600	23,0
		100 °С/с			150 °С/с			200 °С/с		
	0,25	495	590	22,5	495	595	22,0	500	600	21,0
	0,5	520	750	23,0	530	760	22,0	540	770	21,0
	1,0	530	600	23,0	540	610	22,0	640	610	21,0

Аналіз табл. 4 вказує на підвищення характеристик міцності та зменшення відносного подовження зі зростанням швидкості охолодження. Однак, слід зазначити, що, рівень механічних властивостей стрічок відповідає вимогам стандартів для відпаленої сталі в ковпаківій печі. Згідно з вимогами ДСТУ 2834-94 для листової сталі товщиною до 2 мм категорії К490В (тимчасовий опір Бв від 490 до 720 Н/мм², відносне подовження δ повинно бути не менше 13 %).

Висновки

1. Експериментально досліджено та визначено температурно-тимчасові параметри швидкісного безперервного рекристалізаційного відпалу тонких стрічок із холоднокатаної сталі 50, які забезпечують повністю рекристалізовану дрібнозернисту однорідну структуру і однорідні механічні властивостями по довжині і ширині стрічки.

2. Механічні характеристики швидко відпалених холоднокатаних сталей зі ступенем обтискання ~ 60% задовольняють нормативні вимоги ДСТУ 2834-94 для сталі 50 після ковпакового відпалу.

3. Досліджений швидкісний спосіб ш рекристалізаційного відпалу може бути використаний для підвищення технологічної пластичності готових заготовок з метою зменшення браку при виготовленні виробів способами пластичного деформування.

Література

1.Проценко В. М., Бондаренко Ю. В., Явтушенко А. В. Технологія нагріву та нагрівальне обладнання в обробці металів тиском : навчально-методичний посібник / В. М. Проценко, Ю.В. Бондаренко, А.В. Явтушенко – Запоріжжя : ЗНУ, 2021. – 126 с.

2. Сігова В. І. Технологія і проектне рішення термічних цехів і дільниць: навч. посіб./ В.І. В.Б Юскаєв, А .Ф. Будник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2011. – 318 с

3.Термічна ковпакова піч [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://masters.donntu.ru/2020/fmt/likhanova/diss/indexu.htm>

4.Рекристалізаційний відпал [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://studfile.net/preview/7381342/page:4>

5.Annealing of Cold Rolled Steel , Satyendra November 9, 2013 steel [Електронний ресурс] – Режим доступу:<https://www.ispatguru.com/annealing-of-cold-rolled-steel/>

6.Дощечкіна І.В. Підвищення технологічної пластичності при збереженні міцності холоднокатаної тонколистової низьковуглецевої сталі / Дощечкіна І.В. Вісник ХНАДУ. 2020. Вип. 91.С. 165-171.

7.Чубенко В. А., Хіноцька А. А. Технологія прокатного виробництва : навчальний посібник / В.А. Чубенко, А.А. Хіноцька - Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2017. 169 с.