

УДК 621.771.23.09

DOI: 10.30838/J.PMNTM.2413.010721.46.781

СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ ЛИСТОВОГО ПРОКАТУ ПІСЛЯ ДРЕСИРУВАННЯ ЗА РІЗНИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ СХЕМАМИ ВИРОБНИЦТВА

КУЦОВА В. З.¹, *докт. техн. наук, проф.*КОВЗЕЛЬ М. А.^{2*}, *канд. техн. наук,*КОТОВА Т. В.³, *канд. техн. наук, доц.*

¹ Кафедра матеріалознавства, Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, 49000, Дніпро, Україна, ORCID ID: 0000-0003-2413-679X

^{2*} Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, пл. Акад. К. Стародубова, 1, 49050 Дніпро, Україна, e-mail: kovzel.maxim@gmail.com, тел. +38 (098) 122-90-92, ORCID ID: 0000-0001-5720-1186

³ Кафедра матеріалознавства, Національна металургійна академія України, просп. Гагаріна, 4, 49000, Дніпро, Україна, e-mail: tatyana.kotova.1805@gmail.com, тел. +38 (063) 404-37-72, ORCID ID: 0000-0002-5792-1877

Анотація. Постановка проблеми. Розробка ефективної технології процесу дресування дозволить випускати гарячекатаний листовий прокат із показниками якості, які відповідають вимогам стандартів до холоднокатаного листа. Споживачі із значним економічним ефектом замість дорогого холоднокатаного листа зможуть використовувати порівняно недорогий гарячекатаний. **Мета статті:** встановлення впливу дресування за різними технологічними схемами виробництва гарячекатаного тонко- і товстолистого прокату для холодного штампування на структуру і властивості металу. **Висновки.** Встановлено закономірності формування структури і властивостей дресованого за різними технологічними схемами виробництва гарячекатаного тонко- і товстолистого прокату для холодного штампування. Показано, що зі збільшенням ступеня деформації під час дресування в агрегаті поперечного різання спостерігається зниження пластичності гарячекатаних товстолистових штаб із низьковуглецевих сталей. В результаті термообробки і дресування на окремо розташованому стані гарячекатаної тонколистової низьковуглецевої сталі підвищується пластичність металу та формується однорідна структура згідно з вимогами ДСТУ 2834-94. Отримання гарячекатаного тонколистового прокату з показниками якості на рівні вимог до холоднокатаного металу дозволить використовувати гарячекатаний прокат замість холоднокатаного, що забезпечить зростання продуктивності праці, зниження витратного коефіцієнта металу й економію електроенергії та природного газу.

Ключові слова: *низьковуглецеві сталі; холодне штампування; дресування; структура; механічні властивості; гаряча прокатка*

STRUCTURE AND PROPERTIES OF ROLLED STEEL AFTER SKIN-ROLLING ACCORDING TO DIFFERENT TECHNOLOGICAL PRODUCTION SCHEMES

KUTSOVA V.Z.¹, *Dr Sc. (Tech.), Prof.*KOVZEL M.A.^{2*}, *Cand. Sc. (Tech.),*KOTOVA T.V.³, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

¹ Department of Material Science, National Metallurgical Academy of Ukraine, 4, Naharina Ave., 49000, Dnipro, Ukraine, ORCID ID: 0000-0003-2413-679X

^{2*} Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov NAS of Ukraine, 1, Academician Starodubov Sq., 49050, Dnipro, Ukraine, e-mail: kovzel.maxim@gmail.com, tel. +38 (098) 122-90-92, ORCID ID: 0000-0001-5720-1186

³ Department of Material Science, National Metallurgical Academy of Ukraine, 4, Naharina Ave., 49000, Dnipro, Ukraine, e-mail: tatyana.kotova.1805@gmail.com, tel. +38 (063) 404-37-72, ORCID ID: 0000-0002-5792-1877

Abstract. Problem statement. Development of an effective technology for the skin-rolling will allow the production of hot-rolled sheet products with quality indicators that meet the requirements of standards for cold-rolled sheets. Consumers with significant economic benefits will be able to use relatively inexpensive hot-rolled sheets instead of expensive cold-rolled sheets. **The purpose of the article:** establishment of the effect of skin-rolling to various technological schemes for the production of hot rolled fine and thickness rolled for cold stamping on the structure and

properties of the metal. **Conclusion.** The patterns of the formation of the structure and properties after skin-rolling of hot rolling sheet steel and plate steel for cold stamping are established. It is shown that with an increase in the degree of deformation during skin-rolling in the unit cutting unit, there is a decrease in the plasticity of hot-rolled plate steel strips of low carbon steels. As a result of heat treatment and skin-rolling on a separately located mill of hot rolled, thin-sheet low carbon steel, the plasticity of the metal rises and a homogeneous structure is formed in accordance with the requirements of ДСТУ 2834-94. Obtaining hot-rolled thin-sheet steel with quality indicators at the level of requirements for cold-rolled metal will allow the use of hot-rolled steel instead of cold-rolled one, which will ensure an increase in labor productivity and savings electricity.

Keywords: *low-carbon steels; cold pressing; skin-rolling; structure; mechanical properties; hot rolling*

Постановка проблеми. Листовий прокат – один з економічних видів металопродукції, що використовується у будівництві, машинобудуванні та виробництві побутової техніки. Завдяки спеціальним технологіям виробництва та обробки металевих листів досягається міцність та тривалий термін експлуатації таких виробів. Холоднокатані листи металу мають меншу собівартість і дозволяють скорочувати витрати виробництва. Проте виготовити товстолистовий прокат за такою технологією неможливо, і саме тому машинобудівна промисловість використовує гарячекатаний листовий метал.

Гарячекатаний сталевий лист має широкий діапазон застосування і використовується для виготовлення автомобільних деталей, спорудження цистерн і ємностей, військової промисловості (виготовлення техніки та устаткування), будівництва вагонів поїздів, корпусів автомобілів, обшивок літаків.

Використання гарячекатаного листового прокату залежить від його складу, параметрів та методу виробництва. Часто для підвищення міцності поверхні товстолистового сталевого листа проводять додаткову обробку матеріалу, що робить його більш стійким до механічних пошкоджень.

Гарячекатаний лист, що використовується для зварних, клепальних або болтових конструкцій машинобудівної промисловості, постачається без додаткової термічної обробки. Склад, марка та якість використаного у виробництві гарячекатаного листового прокату визначають подальше застосування такої прокатної продукції, оскільки від цих показників залежить кінцева вага листа, що

має значення для проектування металоконструкції та її кінцевої собівартості.

Значна роль у підвищенні технічного рівня, якісних показників та експлуатаційної надійності автомобілів належить виробництву сталевих листів. Останніми роками в умовах посилення вимог стандартів до показників якості металопродукції актуальною стала економія експлуатаційних витрат під час його виготовлення. Дресування посідає особливе місце в технології виробництва сталевих штаб для виконання важливих вимог з боку машинобудівників (наприклад, у штампуванні кузовних деталей автомобіля необхідна здатність листів до глибокої витяжки) [1; 2].

З метою поліпшення якості листового прокату розробляється ефективна технологія процесу дресування. Огляд літератури показав, що теорії дресування присвячені праці багатьох відомих учених, але є необхідність коригування деяких положень, враховуючи сучасний рівень знань про процеси пружнопластичної деформації [2–4].

Штампування – це обробка металів за допомогою штампів. Один із прогресивних та високоефективних різновидів – холодне листове штампування виробів чи заготовок із листового прокату без обумовленого значного перерозподілу металу в поперечному перерізі вихідної заготовки. Холодне листове штампування дозволяє отримувати повністю готові міцні точні деталі різної, у тому числі і складної форми. Листове штампування передбачає різноманітні операції з переробки листового прокату: витягування, рельєфне

формовування, пробивання, вирубання та ін. [5; 6].

Вихідною заготовкою для холодного листового штампування служить сталевий прокат у вигляді листа, штаби чи стрічки в рулоні. Найважча операція – це витягування, яке залежно від ступеня складної форми штапованої деталі класифікується як нормальне (Н), глибоке (Г), вельми глибоке (ВГ), складне (СВ), особливоскладне (ОСВ) та вельми особливоскладне (ВОСВ) [6].

Для холодного штампування використовують як холоднокатаний, так і гарячекатаний листовий прокат. Незважаючи на велику кількість створених сталей (високоміцних, двофазних, низьколегованих та легованих), основними у виробництві листового прокату для холодного штампування залишаються низьковуглецеві сталі – якісні та звичайної якості, схильні до старіння (киплячі, напівспокійні та спокійні) і нестаріючі, стабілізовані алюмінієм (ЮА, Ю). Наприклад, частка низьковуглецевих сталей в загальній масі автомобілів (вантажних, легкових та автобусів), які виробляють у США та Японії, коливається від 50 до 62 %.

В оцінюванні придатності гарячекатаного прокату для холодного листового штампування використовують основні критерії: штапованість металу і строк його служби у готовому виробі. Штапованість – здатність металу до пластичної деформації без порушення його суцільності – розривів, тріщин і розшарувань.

Штапованість та службові властивості листового прокату визначаються його мікроструктурою, механічними і технологічними властивостями, основні з яких – міцність і пластичність. Чим вища пластичність і нижча міцність, тим краще штапується метал. Однак для збільшення строку служби деталі в готовому виробі необхідна висока міцність металу. Отже, метал для холодного листового штампування повинен мати високі пластичність і міцність, а також, для роботи

в умовах низьких температур, високу в'язкість.

Гарячекатаний листовий прокат із низьковуглецевих сталей має достатньо високі показники пластичності й міцності і використовується для холодного штампування простих та складних за формою деталей різного, у тому числі, і відповідального призначення.

У низьковуглецевих сталях підвищення пластичності практично завжди пов'язане з деякою втратою міцності металу. Однак, чим більш пластичний (м'який) метал, тим більш інтенсивно він наклепується (зміцнюється) під час холодного штаповці. При цьому загальний високий рівень міцності готових деталей зберігається.

Слід зазначити, що високопластичний гарячекатаний метал недоцільно використовувати для холодного листового штампування деталей простої форми. Пов'язано це з тим, що при холодному листовому штампуванні простих за формою деталей метал, піддаючись невеликим деформаціям, слабо наклепується, і готові деталі мають знижену міцність, що може негативно вплинути на строк їх служби у готових виробах. Крім цього, більш пластичний метал має підвищену ціну, що спричинює подорожчання порівняно простих у виготовленні деталей.

Велике значення для штампування має товщина металу. Гарячекатаний листовий прокат, маючи порівняно більшу, ніж у холоднокатаного, товщину, здатний витримувати значні навантаження без руйнувань. Так, товщина гарячекатаного травленого листового прокату, який використовується для холодного штампування, коливається в широких межах і досягає 6...7 мм. З іншого боку, за рахунок збільшення міцності зменшують товщину гарячекатаного прокату, який застосовується для холодного листового штампування (так звана міцність, що гарантується). Це дозволяє знизити вагу деталей, економити метал та енерговитрати під час роботи готових виробів у процесі експлуатації [7–13].

Практика сучасного виробництва показала, що не існує універсальної методики, за допомогою якої можна оцінити здатність до витягування будь-якого з видів листового прокату. Тому різними методами досліджують властивості металу, які можуть характеризувати штампованість. Для гарячекатаного листового прокату для холодного штампування характеристиками, що нормуються в стандартах, стають випробування механічних і технологічних властивостей і контроль якості мікроструктури.

Мета досліджень – установлення впливу дресування за різними технологічними схемами виробництва гарячекатаного тонко- і товстолистового прокату для холодного штампування на структуру і властивості металу.

Матеріали та методи дослідження. Дресування штаб товщиною 5...6 мм із низьковуглецевої сталі, стабілізованих алюмінієм, здійснювали в агрегатах поперечного різання. Товстолистовий прокат (травлений і нетравлений) потрапляв для дресування безпосередньо зі станів гарячої прокатки. На окремо розташованому одноклітьовому стані, призначеному для дресування тонколистового прокату, дресуванню піддавали прокатаний на безперервному широкоштабовому стані (БШС) гарячекатаний метал товщиною 2,0 мм із низьковуглецевої сталі 08пс. Температури закінчення прокатки і змотування штаб на БШС складалі відповідно 850...870 °С і 630...650 °С.

Результати досліджень

Дресування гарячекатаних штаб в агрегатах поперечного різання. Аналіз отриманих даних свідчить, що після обробки в БТА гарячекатаних штаб у результаті отриманих деформацій на кривих розтягнення відсутні зуб і площадка текучості. Наступне дресування травлених штаб в агрегатах поперечного різання (АПР) ще більше зміцнює метал (рис. 1), причому зі збільшенням ступеня деформації під час дресування в агрегатах різання пластичність гарячекатаного листового прокату погіршується. Таким

чином, дресування гарячекатаних травлених штаб в агрегатах різання необхідно здійснювати з мінімально можливим обтискуванням, що забезпечує поліпшення, крім механічних властивостей, показників якості (площинність, якість поверхні та ін.).

Установлено особливості впливу дресування в АПР на механічні властивості нетравлених штаб товщиною 5...6 мм із низьковуглецевої сталі, які потрапляють безпосередньо зі станів гарячої прокатки. Попередньо встановили, що на кривих розтягнення зразків, відібраних від гарячекатаних нетравлених штаб ($\epsilon_{др.} = 0$), є зуб і площадка текучості. Зуб і площадка текучості зберігаються і на кривих розтягнення зразків, дресированих з ($\epsilon_{др.} = 0,5\%$). За ступеня деформації 1% на кривих розтягнення зуб відсутній, є невелика площадка текучості. У разі ($\epsilon_{др.} = 1,5\%$) і вище в деяких випадках на кривій розтягнення зразків є точка перегину при переході від зони пружної до зони пластичної деформації, а іноді між цими зонами на кривих спостерігається плавний перехід.

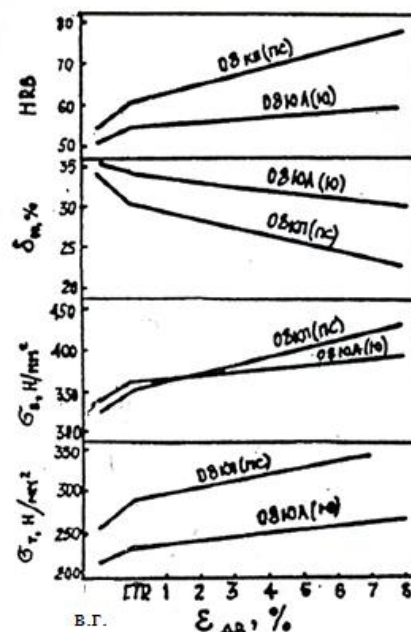


Рис. 1. Механічні властивості гарячекатаних, травлених у БТА, штаб зі сталей 08кп, 08пс, 08ЮА, 08Ю після дресування в агрегатах різання [14]:

В.Г. – вихідний гарячекатаний,
Г.Тр. – гарячекатаний травлений

Зі збільшенням ступеня деформації під час дресування в АПР відслідковується загальна тенденція до зниження пластичності гарячекатаних нетравлених штаб як із киплячих, так і стабілізованих алюмінієм низьковуглецевих сталей (рис. 2).

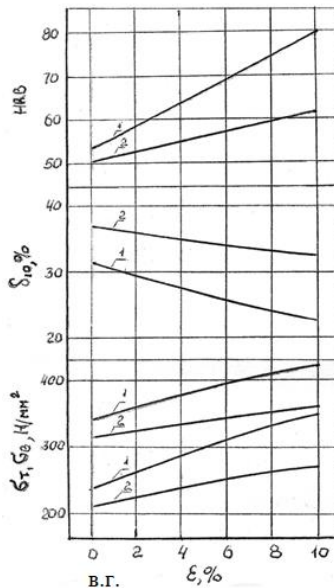


Рис. 2. Середні значення механічних властивостей гарячекатаних нетравлених штаб товщиною 5...6 мм із сталей 08кп (1) і 08ЮА (2) після дресування в АПР:
В.Г. – вихідний гарячекатаний

Таким чином, у виборі оптимального ступеня деформації під час дресування гарячекатаних нетравлених товстих штаб із низьковуглецевих сталей необхідно орієнтуватись на їх криві розтягнення, коли на них зникають зуб і площадка текучості. В наведених дослідженнях цей ступінь деформації під час дресуванні складав близько 1,5 %.

Дресування гарячекатаних штаб на окремо розташованому дресувальному стані. Після гарячої прокатки і охолодження механічні властивості штаб повністю відповідали вимогам ДСТУ 2834-94 групи міцності К270В не тільки для гарячекатаного, а і для холоднокатаного прокату (табл.) [9; 15].

Величина зерна фериту в гарячекатаному металі перебувала в межах двох номерів зернистості (8- і 9-й бал) згідно з ДСТУ 2834-94 для холоднокатаного прокату.

Досліджено вплив дресування на механічні властивості гарячекатаних нетравлених тонких штаб (рис. 3). Установлено, що зі збільшенням ступеня деформації під час дресування нетравлених тонких штаб знижується пластичність металу [14].

Необхідно зазначити, що під час механічних випробувань на кривих розтягнення зразків гарячекатаних вихідних нетравлених тонких штаб є зуб і площадка текучості. За деформації 1,0...1,2 % зуб і площадка текучості на кривих розтягнення зникають. Отже, у виборі ступеня деформації для дресування гарячекатаних нетравлених тонких штаб із низьковуглецевих сталей необхідно орієнтуватись на криві розтягнення, коли на них зникнуть зуб і площадка текучості. В наших дослідженнях цей ступінь деформації складав 1,0...1,2 %.

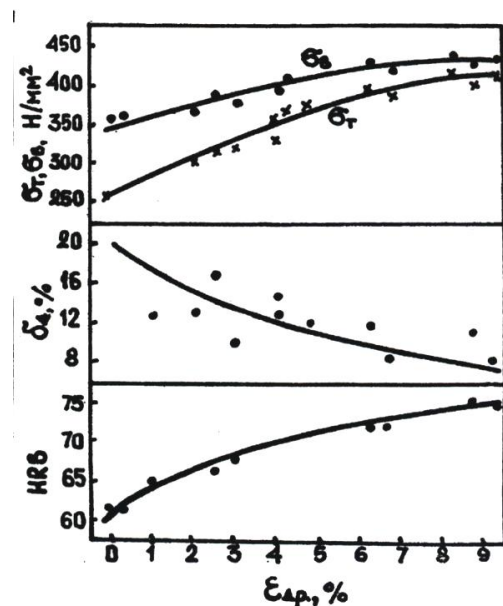


Рис. 3. Залежність механічних властивостей гарячекатаної нетравленої тонколистової сталі 08кп від ступеня деформації під час дресування

Травлення гарячекатаних штаб здійснювали в БТА, у складі обладнання якого відсутні окапиноламач і дресувальна кліть, а їх функцію виконувала вигинно-розтяжна машина (ВРМ).

Експериментально встановлено, що після обробки в БТА відбувається зміна механічних властивостей гарячекатаного

металу: характеристики пластичності знижуються, а міцнісні зростають (табл.). Причому, за працюючої ВРМ, що входить до складу БТА, ця зміна більш помітна

(рис. 4). На кривих розтягнення зразків гарячекатаних, травлених у БТА штаб зуб і площадка текучості відсутні.

Таблиця

Механічні і технологічні властивості гарячекатаних штаб товщиною 2,0 мм із сталі 08пс після травлення, термообробки і дресування

Механічні і технологічні властивості						
σ_T	σ_B	δ_4	HRB	Глибина лунки		
МПа		%	од.	мм		
Після гарячої прокатки						
255	360	34	54	12,4		
Після травлення						
295	380	31	60	12,0		
Після травлення і дресування						
305	380	30	62	12,0		
Після світлого відпалу в ковпакових печах						
215	340	42	37	13,0		
Після відпалу і дресування						
215	340	41	38	13,0		
Після термообробки і дресування в АБВ						
Режими	А	205	340	42	39	13,0
	Б	245	360	39	40	12,9
	В	275	360	38	41	12,8
Вимоги ДСТУ 2834-94, клас міцності К270В						
Для гарячекатаного прокату						
н. р.	270...410		≥ 24	н.р.	н.р.	
Для холоднокатаного прокату глибокої витяжки "Г"						
н. р.	270...410		≥ 25	≤ 65	$\geq 11,9$	
Вимоги ГОСТ 9045-93 для холоднокатаного прокату вельми глибокої витяжки "ВГ"						
н. р.	250...390		≥ 29	н. р.	$\geq 12,1$	

Примітка : н.р. – показник стандартом не регламентується.

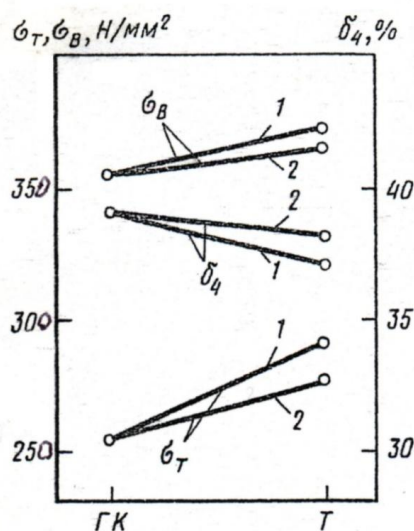


Рис. 4. Вплив умов обробки в БТА на механічні властивості сталі 08пс товщиною 2,0 мм: 1,2 – з працюючою та відключеною ВРМ відповідно; ГК – гарячекатаний прокат вихідний; Т – травлений

Як зазначено вище, погіршення механічних властивостей гарячекатаного, травленого в БТА тонколистового прокату викликане процесами наклепу і деформаційного старіння.

У процесі досліджень встановлено, що наступне після травлення в БТА дресування на окремо розташованому дресувальному стані гарячекатаних рулонних штаб номінальною товщиною 2,0 мм із сталі 08пс зі ступенями деформації до 2 % децю підвищує міцнісні характеристики металу і знижує його пластичність (табл.).

Механічні та технологічні властивості дресированих травлених штаб повністю відповідають вимогам ДСТУ 2834-94 групи міцності К270В не тільки для гарячекатаного прокату, а і для холоднокатаного.

Питання впливу дресування на механічні та технологічні властивості попередньо термооброблених гарячекатаних травлених у БТА рулонних штаб товщиною 2,0 мм зі сталі 08пс розглянуте у працях [9; 15]. Термообробку рулонних штаб здійснювали в ковпакових печах і агрегаті безперервного відпалу (АБВ).

У ковпакових печах рулони тонколистової сталі піддавали світлому відпалу за температур 680...710 °С, час нагріву 40...48 год., час охолодження 60...75 год. Дресували відпалені в ковпакових печах рулонні штаби на окремо розташованому дресувальному стані з обтискуванням 1,5 %.

Механічні і технологічні властивості гарячекатаного тонколистового прокату після світлого відпалу в ковпакових печах і наступного дресування наведено в таблиці.

Оскільки термообробка і наступне дресування в АБВ поєднані в один технологічний процес, розділити вплив кожної із вказаних операцій на властивості металу неможливо. З цієї причини в таблиці наведено кінцевий рівень механічних і технологічних властивостей гарячекатаного тонколистового прокату. Дані таблиці свідчать, що термообробка в ковпакових печах і АБВ суттєво підвищує пластичність гарячекатаної, травленої в БТА тонколистової сталі. Дресування відпаленого в ковпакових печах металу дещо підвищує його міцнісні характеристики.

Результати мікроструктурних досліджень показали, що, на відміну від відпалу товстолистової сталі, після якого в металі утворюється неприпустима для холодного штампування різнозерниста структура, в тонколистовому прокаті відпал у ковпакових печах і АБВ сприяє утворенню порівняно рівномірної по перерізу структури із зерном фериту 7, 8 номерів за ДСТУ 2834-94. Цементит у всіх досліджених ділянках присутній у вигляді частинок 1, 2 номерів за ГОСТ 5640. Пов'язано це з тим, що сумарний ступінь деформації, який отримується

тонколистовим прокатом після обробки в БТА, перебуває в зоні докритичних деформацій (2...3 %), що позитивно впливає на структуроутворення в металі під час наступного відпалу.

Дослідження показали, що, використовуючи різні технологічні схеми, стає можливим у виробництві гарячекатаного дресированого тонколистового прокату варіювати в широкому діапазоні його якісними показниками.

Поставка гарячекатаного дресированого тонколистового прокату з диференційованим рівнем механічних властивостей дозволяє споживачу під час холодного штампування підвищити ефективність використання міцнісних і пластичних характеристик металу.

Оскільки гарячекатаний дресирований тонколистовий прокат за показниками якості відповідає вимогам до холоднокатаного прокату відповідно до ДСТУ 2834-94, у деяких випадках і ГОСТ 9045-93, споживач має можливість у виробництві під час холодного штампування замість дорогого холоднокатаного листа використовувати більш дешевий, але такої ж якості гарячекатаний [7].

Висновки. Встановлено вплив дресування на агрегаті поперечного різання та окремо розташованому стані гарячекатаного тонко- і товстолистового прокату для холодного штампування на структуру і властивості металу.

Зі збільшенням ступеня деформації під час дресування в АПР спостерігається зниження пластичності гарячекатаних товстолистових штаб із низьковуглецевих сталей. Визначено, що в результаті термообробки і дресування на окремо розташованому стані гарячекатаної тонколистової низьковуглецевої сталі підвищується пластичність металу та формується однорідна структура згідно з вимогами ДСТУ 2834-94.

Отримання гарячекатаного тонколистового прокату з показниками якості на рівні вимог до холоднокатаного металу дозволить використовувати

горячекатаний прокат замість коефіцієнта металу й економію холоднокатаного, що забезпечить зростання електроенергії та природного газу. продуктивності праці, зниження витратного

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гусева С. С., Гуренко В. Д., Зварковский Ю. Д. Непрерывная термическая обработка автолистовой стали. Москва : Metallurgiya, 1979. 224 с.
2. Третьяков А. В., Зюзин В. И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. Москва : Metallurgiya, 1973. 223 с.
3. Грабер Э. А., Тимофеева М. А. Проблемные вопросы теории дрессировки холоднокатаных стальных отожженных полос. *Черная металлургия : бюллетень науч.-техн. и эконом. инф.* 2016. Вып. 4. С. 47–52.
4. Третьяков А. В., Третьяков Е. М., Мигачева Г. Н. Дрессировка и качество тонкого листа. Москва : Metallurgiya, 1977. 231 с.
5. Волчок И. П., Беликов С. Б. Системы современных технологий : учеб. для вузов. Запорожье : ОАО «Мотор Січ», 2001. 247 с.
6. Куцова В. З., Ковзель М. А., Носко О. А. Леговані сталі та сплави з особливими властивостями : підруч. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2008. 348 с.
7. Злов В. Е., Буданов А. П., Черкасский А. И. Производство горячекатаных полос с потребительскими свойствами, соответствующими холоднокатаным. *Сталь*. 1997. № 6. С. 53.
8. Shiomi H., Kaji T., Kitahama M. High quality and high grade hot strips of uniform dimensions and mechanical properties. *Kawasaki Steel Giho*. 1999. № 3. Pp. 150–154.
9. Франценюк И. В., Франценюк Л. И., Колпаков С. С., Коньшин А. П., Иванченко В. Г., Какушкин Е. С. Тонколистовой прокат разных уровней пластичности и прочности для холодной штамповки. *Сталь*. 1991. № 12. С. 42–45.
10. Пройдак Ю. С., Куцова В. З., Ковзель М. А., Котова Т. В., Стеценко Г. П. Тонколистовая сталь : монографія. Дніпро : НМетАУ, 2018. 311 с. ISBN 978-617-7696-51-2.
11. Путноки А. Ю., Тилик В. Т., Штехно О. Н., Мовшович В. С., Иванченко В. Г. Исследование технологии горячекатаной особотонкой листовой стали для холодной штамповки. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. Київ : Наукова думка, 2001. С. 193–197.
12. Сацкий В. А., Путноки А. Ю., Штехно О. Н. и др. Производство особотонкой горячекатаной полосовой стали. *Теория и практика металлургии*. Днепропетровск : РИА «Днепр–VAL». 2003. № 3 (35). С. 50–55.
13. Тилик В. Т., Путноки А. Ю., Ермоленко А. А., Поздняков В. П. Перспективы повышения эффективности прокатного производства ОАО «Запорожсталь». *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2000. № 6. С. 68–69.
14. Иванченко В. Г., Франценюк Л. И., Смирнов П. Н. Влияние степени деформации на качество полос при дрессировке. *Сталь*. 1997. № 8. С. 41–44.
15. Франценюк Л. И., Иванченко В. Г. Некоторые особенности производства горячекатаного травленого листового проката для холодной штамповки. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 1993. № 3. С. 25–27.
16. Иванченко В. Г. Особенности дрессировки горячекатаного листового проката. *Металл и литье Украины*. 1994. № 7–8. С. 10–13.

REFERENCES

1. Guseva S.S., Gurenko V. D. and Zvarkovskiy Yu. D. *Nepreryvnaya termicheskaya obrabotka avtolistovoy stali* [Continuous heat treatment of auto sheet steel]. Moscow : Metallurgiya Publ., 1978, 224 p. (in Russian).
2. Tret'yakov A.V. and Zyuzin V. I. *Mekhanicheskie svoystva metallov i splavov pri obrabotke davleniem* [Mechanical properties of metals and alloys during pressure treatment]. Moscow : Metallurgiya Publ., 1973, 223 p. (in Russian).
3. Graber E.A. and Timofeeva M.A. *Problemye voprosy teorii dressirovki kholodnokatanykh stal'nykh otozhzhennykh polos* [Problematic issues of the theory of tempering of cold-rolled steel annealed strips]. *Chernaya metallurgiya : byulleten' nauchno-tekhnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii* [Ferrous metallurgy : bulletin scient. and techn. and econ. inform.]. Vol. 4, pp. 47–52. (in Russian).
4. Tret'yakov A.V., Tret'yakov E. M. and Migacheva G.N. *Dressirovka i kachestvo tonkogo lista* [Dressirovka i kachestvo tonkogo lista]. 1977, 231 p. (in Russian).
5. Volchok I.P. and Belikov S.B. *Sistemy sovremennykh tekhnologiy : uchebnyk dlya vuzov* [Systems of modern technologies : textbook for universities]. Zaporozh'e : ОАО “Motor Sic” Publ., 2001, 247 p. (in Russian).
6. Kutsova V.Z., Kovzel' M.A. and Nosko O.A. *Legovani stali ta splavi z osoblivimi vlastivostyami : pidruchnyk* [Alloy steels and alloys with special properties : textbook]. Dnipropetrovs'k : NMetAU, 2008, 348 p. (in Ukrainian).

7. Zlov V.E., Budanov A.P. and Cherkasskiy A.I. *Proizvodstvo goryachekatanykh polos s potrebitel'skimi svoystvami, sootvetstvuyushchimi kholodnokatanym* [Production of hot-rolled strips with consumer properties corresponding to cold-rolled]. *Stal'* [Steel]. 1997, no. 6, 53 p. (in Russian).
8. Shiomi H., Kaji T. and Kitahama M. High quality and high grade hot strips of uniform dimensions and mechanical properties. *Kawasaki Steel Giho*. 1999, no. 3, pp. 150–154.
9. Frantsenyuk I.V., Frantsenyuk L.I., Kolpakov S.S., Kon'shin A.P., Ivanchenko V.G. and Kakushkin E.S. *Tonkolistovoy prokat raznykh urovney plastichnosti i prochnosti dlya kholodnoy shtampovki* [Thin-sheet products of different levels of ductility and strength for cold forming]. *Stal'* [Steel]. 1991, no. 12, pp. 42–45. (in Russian).
10. Proydak Yu.S., Kutsova V.Z., Kovzel' M.A., Kotova T.V. and Stetsenko G.P. *Tonkolistova stal': monografiya* [Sheet steel: monograph]. Dnipro : NMetAU, 2018, 311 p. ISBN 978-617-7696-51-2. (in Ukrainian).
11. Putnoki A.Yu., Tilik V.T., Shtekhno O.N., Movshovich V.S. and Ivanchenko V.G. *Issledovanie tekhnologii goryachekatanoy osobotonkoy listovoy stali dlya kholodnoy shtampovki* [Research of technology of hot rolled extra-thin sheet steel for cold forming]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy chernoy metallurgii* [Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy]. Kyiv : Naukova Dumka, 2001, pp. 193–197. (in Russian).
12. Satskiy V.A., Putnoki A.Yu., Shtekhno O.N. and oth. *Proizvodstvo osobotonkoy goryachekatanoy polosovoy stali* [Production of extra-thin hot-rolled strip steel]. *Teoriya i praktika metallurgii* [Theory and Practice of Metallurgy]. Dnipropetrovsk : RIA "Dnepr–VAL", 2003, no. 3 (35), pp. 50–55. (in Russian).
13. Tilik V.T., Putnoki A.Yu., Ermolenko A.A. and Pozdnyakov V.P. *Perspektivy povysheniya effektivnosti prokatnogo proizvodstva OAO "Zaporozhstal"* [Prospects for increasing the efficiency of rolling production of JSC "Zaporizhstal"]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'* [Metallurgical and Mining Industry]. 2000, no. 6, pp. 68–69. (in Russian).
14. Ivanchenko V.G., Frantsenyuk L.I. and Smirnov P.N. *Vliyaniye stepeni deformatsii na kachestvo polos pri dressirovke* [Influence of the degree of deformation on the quality of strips during training]. *Stal'* [Steel]. 1997, no. 8, pp. 41–44. (in Russian).
15. Frantsenyuk L.I. and Ivanchenko V.G. *Nekotorye osobennosti proizvodstva goryachekatanogo travlenogo listovogo prokata dlya kholodnoy shtampovki* [Some features of the production of hot-rolled pickled sheet products for cold stamping]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'* [Metallurgical and mining industry]. 1993, no. 3, pp. 25–27. (in Russian).
16. Ivanchenko V.G. *Osobennosti dressirovki goryachekatanogo listovogo prokata* [Features of tempering hot-rolled sheet products]. *Metall i lit'e Ukrainy* [Metal and Casting of Ukraine]. 1994, no. 7–8, pp. 10–13. (in Russian).

Надійшла до редакції : 15.06.2021.