

В.З. Куцова, В.Г. Іванченко, Т.В. Котова, М.А. Ковзель

ВПЛИВ ДРЕСУВАННЯ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ ГАРЯЧЕКАТАНОЇ ЛИСТОВОЇ СТАЛІ ДЛЯ ХОЛОДНОЇ ШТАМПОВКИ

Анотація. Досліджено вплив дресування на структуру і властивості гарячекатаних сталевих штаб та листів, які призначені для холодної штамповки. Отримані дані можуть бути використані при визначенні параметрів дресування для забезпечення формування структури і рівня властивостей металу згідно з вимогами ГОСТ 4041–2017. Розробка оптимальної технології дресування дозволить знизити несприятливий вплив процесу старіння та отримати якісну листову сталь для холодної штамповки.

Ключові слова: дресування, гаряча прокатка, розмір зерна, механічні властивості, холодна штамповка, відпал, старіння

Постановка проблеми. В дійсний час одним з головних напрямів розвитку чорної металургії є покращення якості і розширення сортаменту ефективних видів металопрокату, зокрема, гарячекатаного конструкційного листа. Для переробки металопрокату у багатьох галузях промисловості використовуються прогресивні, високопотужні технології, якою, наприклад, є холодна листова штамповка.

Вимоги споживачів до якості гарячекатаного листового прокату і, в першу чергу, до характеристик, які впливають на техніко-економічні показники використання металу у виробництві і його служби в готових виробах, безперервно зростають. Споживач зацікавлений отримати порівняно недорогий гарячекатаний листовий прокат для холодної штамповки, що характеризується високим рівнем службових властивостей. В зв'язку з цим металурги розробляють та освоюють нові більш ефективні технології виробництва гарячекатаного листа. На багатьох металургійних комбінатах досягнутий рівень технології, що дозволяє випускати гарячекатаний тонколистовий прокат, з показниками якості, які відповідають вимогам стандартів до холоднокатаного листа. Цьому в значній мірі сприяє застосування дресування на заключній стадії обробки гарячекатаних штаб і листів. Це дозволило споживачам металопрокату із значним економічним ефектом замість дорогокоштуючого холоднокатаного листо-

вого прокату використовувати порівняно недорогий гарячекатаний. Виробники при виготовленні і поставках гарячекатаного листового прокату замість холоднокатаного також отримують економію за рахунок зниження витрат на додаткові операції – холодну прокатку та відпал.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дресування чи холодна прокатка з малими обтискуваннями (0,5-6,0%) є кінцевою операцією технологічного процесу виробництва листової сталі, яка впливає на якість поверхні, властивості і штампованість листів. У деяких випадках на дресувальних станах здійснюють докатування товстих листів до заданої товщини. Крім того, при дресуванні гарячекатані листи піддають наклепу для підвищення їх міцності (для виготовлення деяких деталей автомобіля). Застосування малих обтискувань дозволяє здійснити наклеп поверхневого шару металу і зберегти недеформованими внутрішні шари, в результаті чого вдається запобігти утворенню ліній зсуву при штампуванні і забезпечити оптимальне поєднання механічних характеристик листів. Інколи дресування використовується для розпушування окалини на поверхні штаб і листів перед їх травленням [1-3].

Згідно з ГОСТ 4041-2017 «Прокат толстолистовой горячекатаный для холодной штамповки из нелегированной конструкционной качественной стали», толстолистовий прокат товщиною 4,0-6,0 мм допускається виготовляти у дресованому вигляді. В ДСТУ 2834-94 «Прокат тонколистовий із вуглецевої сталі якісної та звичайної якості загального призначення» виготовлення гарячекатаного тонколистового дресованого прокату не передбачено.

Гарячекатані штаби можуть піддаватись дресуванню на різних стадіях обробки металу:

- 1) в головній частині безперервно-травильного агрегату (БТА), перед травильними ваннами;
- 2) в хвостовій частині БТА, після ванн холодної і гарячої промивки і сушильних пристроях;
- 3) в агрегатах поперечного (АПР), уздовжнього і комбінованого різання, а також в лінії перемотки;
- 4) на окремо розташованих дресувальних станах, де відбувається дресування нетравленого, травленого, а також термообробленого металу;
- 5) в хвостовій частині агрегатів безперервного відпалу (АБВ).

АБВ призначені для термообробки холоднокатаних штаб, але в деяких випадках вони використовуються і для обробки гарячекатаних. Для дресування

гарячекатаних штаб і листів використовуються одноклітьові стани дуо або кварто.

Мета досліджень. Метою даної роботи є дослідження впливу дресування на структуру і властивості гарячекатаних штаб та листів, які призначені для холодної штамповки.

Викладення основного матеріалу дослідження. В технологічному процесі виробництва металопрокату дресування визначає якість готових штаб і листів, у тому числі здатність їх до глибокої витяжки при штампуванні без руйнування чи утворення ліній зсуву. Дресування гарячекатаних штаб в БТА разом з іншими технологічними операціями у вузлах та механізмах травильного агрегату впливає на кінцеві механічні властивості металу.

Як правило, механічні властивості гарячекатаних штаб, які поступають для травлення в БТА з безперервних широкоштабових станів (БШС), відповідають вимогам стандартів на готову продукцію: ДСТУ 2834-94 для тонколистового прокату товщиною до 3,9 мм і ГОСТ 4041-2017 для товстолистого товщиною 4-6 мм. Але після травлення в БТА властивості гарячекатаного металу (особливо із схильних до старіння киплячих сталей) помітно погіршуються: показники пластичності (σ_T , δ_4 , δ_{10}) знижуються, а міцнісні характеристики (σ_b , HRB) підвищуються. Змінення механічних властивостей гарячекатаного листового прокату із киплячих сталей 08кп, 20кп після кожної з технологічних операцій наведено в таблиці 1.

Відомо [4], що нагрів передчасно деформованої в холодному стані листової сталі сприяє інтенсивному протіканню процесів старіння (так зване деформаційне старіння). При обробленні металу в БТА технологічні операції розташовані в такій послідовності, що перед зануренням в травильні ванни штаби наклепується та піддаються в різних механізмах (розмотувачі, окалиноламати, дресирувальні кліті, роликотравильні машини та ін.) багаточисленним деформаціям вигину, розтягнення та стискування. Залишкова деформація штаб після проходження БТА складає 3-4 % для тонколистового прокату товщиною $\geq 3,9$ мм і 5-6 % для товстолистого товщиною 4-6 мм.

Наклепані штаби, проходячи через гарячий травильний розчин, температура якого, наприклад, для сірчано-кислотного травлення складає біля 90°C, а потім ванни гарячої промивки, де промивка здійснюється водою (температура біля 90°C), нагріваються. Підвищена температура металу в поєднанні з попередньою деформацією сприяє інтенсивному протіканню процесу старіння металу. Старіння металу продовжується в сушильному пристрої БТА, де сушка штаб

здійснюється гарячим повітрям, температура якого складає 90°C. Після нагріву штаба протягується через хвостову частину БТА і гарячою змотується в ролон масою 21 т (рисунок 1). Температура змотаного після БТА ролону складає 80-90°C, підвищена температура зберігається тривалий час, протягом якого процес старіння продовжується [5].

Таблиця 1

Змінення механічних властивостей гарячекатаного листового прокату із кеплячих сталей після кожної з технологічних операцій

Марка сталі	Стандарт, категорія, група міцності	Товщина, мм	Механічні властивості	БШС	БТА	АПР	Вимоги стандартів
08кп	ДСТУ 2834-94, кат. 5, К260В	2,0	σ_b , МПа	330	370	380	260-380
			δ_4 , %	31	27	26	≥ 25
		2,5-3,9	σ_b , МПа	320	370	380	260-380
			δ_4 , %	34	30	29	≥ 28
	ГОСТ 4041-2017, кат.2	4,0-6,0	σ_b , МПа	310	380	390	270-370
			δ_{10} , %	35	29	28	≥ 30
HRB			51	60	62	≤ 55	
20кп	ДСТУ 2834-94, кат. 5, К330В	2,0	σ_b , МПа	380	430	440	330-460
			δ_4 , %	29	24	22	≥ 23
		2,5-3,9	σ_b , МПа	360	410	420	330-460
			δ_4 , %	31	26	23	≥ 24
	ГОСТ 4041-2017, кат.2	4,0-6,0	σ_b , МПа	360	430	440	340-490
			δ_{10} , %	28	24	22	≥ 24
HRB			60	71	73	≤ 71	

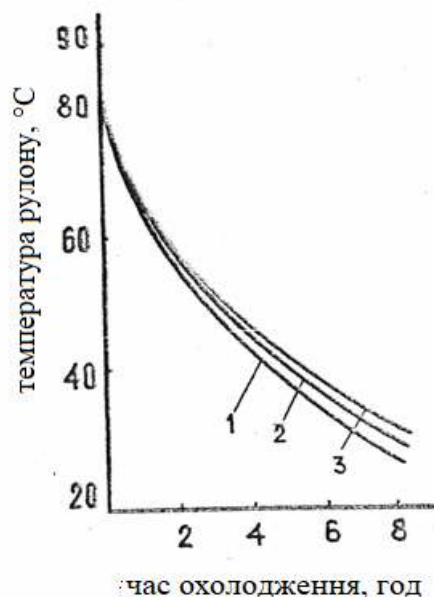


Рисунок 1 –Тривалість охолодження рулонів після обробки в БТА:
розміри штаб (1 – 4×250 мм; 2 – 4×1420 мм; 3 – 4×1530 мм)

У гарячекатаних штабах із стабілізованих алюмінієм сталей 08ЮА, 20ЮА після обробки в БТА також спостерігається деяке зниження пластичності (таблиця 2). Погіршення механічних властивостей прокату відбувається, в основному, за рахунок наклепу, якому піддаються штаби в багаточисленних вузлах і механізмах оздоблювальних агрегатів БТА і АПР [6].

Таблиця 2

Механічні властивості гарячекатаного товстолистого прокату із сталей 08ЮА, 20ЮА після кожної з технологічних операцій

Марка сталі	Механічні властивості*	БШС	БТА	АПР	Вимоги ГОСТ 4041-2017, категорія 2
08ЮА	σ_T , МПа	215	245	255	Н.р.
	σ_B , МПа	340	350	350	270-360
	δ_{10} , %	36	34	34	≥ 32
	HRB	51	54	55	≤ 65
20ЮА	σ_T , МПа	255	275	275	Н.р.
	σ_B , МПа	370	390	390	340-490
	δ_{10} , %	33	31	31	≥ 24
	HRB	56	60	61	≤ 71

* Значення механічних властивостей є середніми для товщин 4, 5, 6 мм;

Н.р. – показник властивостей стандартом не регламентується

Вплив ступеню деформації при дресуванні на механічні властивості гарячекатаного металу досліджували на дресувальній кліті кварто, розташованій в головній частині БТА. Вихідною заготовкою для досліджень служили прокатані на БШС штаби товщиною 5,0 мм із сталі марки 08кп однієї плавки. Перед обробкою в БТА визначали механічні властивості вихідних штаб. Дресування здійснювали із ступенем деформації від 0 до 8 %.

Встановлено, що механічні властивості гарячекатаної товстолистової сталі марки 08кп після обробки в БТА та без обтискування в дресувальній кліті погіршуються. Зі збільшенням обтискування при дресуванні в лінії БТА пластичність гарячекатаного травленого металу із киплячої сталі знижується. Однак, за допомогою оптимально підібраної технології обробки гарячекатаної товстолистової сталі в БТА можна мінімізувати погіршення механічних властивостей та знизити несприятливий вплив процесу старіння (обтискування в дресувальній кліті не повинно перевищувати 0,5% для киплячих сталей та 1% для сталей, стабілізованих алюмінієм). Також на властивості дресованої штаби впливає температура рулону, тому на дресувальний стан рулони необхідно подавати тільки після охолодження. Це вимагає встановлення в хвостовій частині БТА, крім дресувальної кліті, спеціального пристрою для примусового охолодження металу [7].

В залежності від ступеню обтискування при дресуванні можливо усунути чи зменшити площадку текучості на кривій розтягнення, тому важливою є мінімальна границя допустимих обтискувань, нижче якої на кривій розтягнення зберігається площадка текучості. Однак, чим більше діаметр валка, тим більше обтискування необхідно для усунення площадки текучості. При виборі параметрів дресування враховують склад сталі, стан поверхні прокатних валків, швидкість дресування, температуру штаби та ін. фактори [2].

Для отримання більш повної інформації стосовно пластичних властивостей гарячекатаного дресованого, травленого в рулонах листового прокату із киплячої і стабілізованої алюмінієм сталей, крім стандартних характеристик, визначали коефіцієнт нерівномірної пластичної деформації (A). Значна неоднорідність механічних властивостей гарячекатаної сталі викликає необхідність у визначенні нерівномірності пластичної деформації при статичному контролі її якості і оцінюванні штампованості. Чим нижче коефіцієнт A , тем краще штампується сталь.

Показники механічних властивостей гарячекатаного металу визначали на зразках, які вирізані із штаб товщиною 6,0 мм під різними кутами до напрямку прокатки: 0°, 45°, 90°.

Механічні властивості гарячекатаного дресованого, травленого в рулонах листового прокату товщиною 6,0 мм із стабілізованих алюмінієм і киплячих сталей наведено в таблиці 2. Аналіз даних таблиці 2 показав, що у стабілізованій алюмінієм сталі нерівномірність пластичної деформації нижче, ніж у киплячій. Крім цього, розкислена алюмінієм сталь в зрівнянні з киплячою характеризується більш сприятливим для штамповки відношенням σ_T / σ_B .

Мікрофрактографічний аналіз [8] також підтверджує кращий рівень в'язкості дресованих листових стабілізованих алюмінієм сталей 08ЮА, 20ЮА. "В'язкий" і "змішаний" вид зламу спостерігається у сталі з алюмінієм на 80-85% розглянутих ділянок, а у сталі киплячої – тільки на 35-45 % ділянок. Залишившийся вид руйнування – крихкий.

Таким чином, характер зламів гарячекатаних листових стабілізованих алюмінієм сталей є гарантом службової надійності при експлуатації виготовлених з них деталей.

В процесі випробувань зразків гарячекатаних стабілізованих алюмінієм і киплячих сталей встановлена залежність між коефіцієнтом нерівномірної пластичної деформації A і видом зламу.

Таблиця 3

Механічні властивості гарячекатаного дресированого, травленого в рулонах листового прокату товщиною 6,0 мм із киплячих та стабілізованих алюмінієм сталей

Марка сталі	α^*	Механічні властивості				
	градус	σ_T	σ_B	σ_T / σ_B	δ_{10}	A
		МПа			%	
08ЮА	0	225	360	0,62	35	5,0
	90	245	360	0,68	34	8,0
	45	235	370	0,63	35	4,5
08кп	0	255	340	0,74	29	18,0
	90	275	340	0,80	27	18,0
	45	265	340	0,77	28	18,0
20ЮА	0	295	420	0,70	27	6,0
	90	315	430	0,73	25	8,0
	45	305	430	0,70	27	5,0
20кп	0	315	390	0,80	29	15,0
	90	335	390	0,85	27	15,0
	45	325	390	0,82	27	15,0

* α – кут вирізання зразків для випробувань до напрямку прокатки

Чим менше значення A (таблиця 2), тим більш однорідною є поверхня зламу, що характерно для стабілізованих алюмінієм сталей (рис. 2, а). У зразків з киплячих сталей із значною нерівномірністю деформації ($A \geq 18$) поверхня зламу має шаруватий вигляд з виступами та глибокими канавками (рис. 2, б).

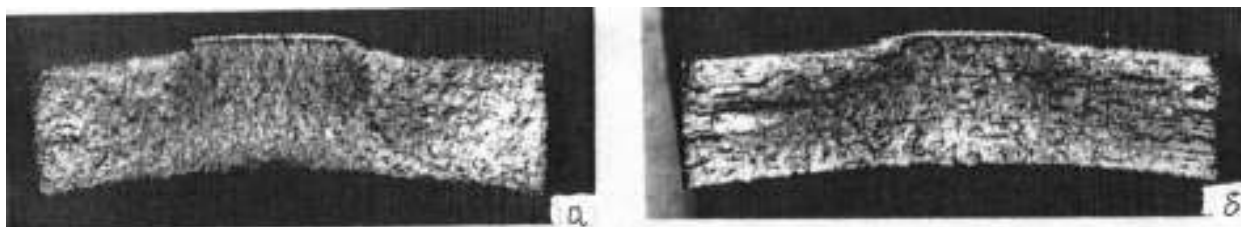


Рисунок 2 – Вид зламів, розірваних при розтягненні зразків гарячекатаних сталей [8]: а – 08ЮА і 20ЮА; б – 08кп і 20кп

Аналіз літературних даних свідчить про те, що найбільш негативний ефект обробки в БТА характерний для штаб товщиною від 4 до 6 мм із киплячих сталей. З метою усунення негативних наслідків обробки в БТА гарячекатані штаби із киплячої сталі піддавали пом'якшуючому відпалу у ковпакових печах при температурах 620-650°C. Проведення вказаної термічної обробки дозволило підвищити пластичність гарячекатаних травлених в БТА сталевих штаб та забезпечити рівень механічних властивостей металу згідно з ГОСТ 4041-2017. Однак, в результаті даної обробки в штабах утворилась структура з феритним зерном величиною від 1 до 5 номеру. Крупнозерниста структура (зерно розміром вище 6 номера) в гарячекатаному прокаті є причиною утворення тріщин і розривів металу при холодному листовому штампуванні.

Виміри, проведені за допомогою контрольних рисок, нанесених на поверхню гарячекатаних штаб з кроком 500 мм, показали, що сумарна деформація, яка отримується металом в лінії БТА, знаходиться в зоні критичних деформацій.

В металі, що зазнав критичної деформації, величина якої для низьковуглецевих сталей знаходиться приблизно в діапазоні від 5 до 15 %, під час рекристалізаційного відпалу зростають дуже крупні зерна [9]. Деформація металу поза зоною критичних деформацій дозволяє уникнути утворення в ньому при відпалі несприятливої для холодної штамповки крупнозернистої структури.

Відомий спосіб полягає в тому, що гарячекатані, травлені в БТА штаби, крім відпалу, піддають додатковому обтискуванню з метою перевищення су-

марного ступеню деформації вище критичного. Додаткову деформацію забезпечує кліть для дресування, встановлена в хвостовій частині БТА. З невеликим запасом вибрали необхідний сумарний ступінь деформації $\Sigma \varepsilon_{\text{деф.}} = 20\%$. Отже, ступінь додаткової деформації, що вимагається, складає $\varepsilon_{\text{дод.деф.}} = 8\%$. Ділянку штаби з металом вирізали і дресували з обтискуванням 8%.

Для металу, який додатково піддавався та не піддавався дресуванню, застосовували відпал при температурах 500, 550, 600, 650, 700, 750 і 800°C.

Встановлено, що мікроструктура і механічні властивості додатково недресованого відпаленого гарячекатаного металу не відповідають вимогам ГОСТ 4041–2017. Додаткове дресування прокату із киплячої сталі та відпал при температурі 600–800°C забезпечують формування комплексу властивостей і мікроструктуру згідно з ГОСТ 4041–2017 (розмір феритного зерна в структурі складає 25–40 мкм по всьому перерізу штаби; $\sigma_{\text{в}} = 320\text{--}330$ МПа, $\delta_{10} = 33\text{--}35\%$, HRB 53–55).

Таким чином, для отримання механічних властивостей і мікроструктури згідно з ГОСТ 4041–2017 в гарячекатаному відпаленому товстолистовому прокаті із низьковуглецевої киплячої сталі необхідно, щоб сумарний ступінь деформації, який отримує метал в БТА перед відпалом, перевищував критичний.

Висновок. Досліджено вплив дресування на структуру та механічні властивості гарячекатаної листової сталі. Встановлено, що з метою підвищення пластичності гарячекатаних штаб та забезпечення рівня механічних властивостей металу і структури згідно з ГОСТ 4041–2017 доцільно здійснити вибір параметрів дресування для отримання якісної листової сталі, призначеної для холодної штамповки.

ЛІТЕРАТУРА / ЛИТЕРАТУРА

1. Франценюк И.В. Тонколистовой прокат разных уровней пластичности и прочности для холодной штамповки / И.В. Франценюк, Л.И. Франценюк, С.С. Колпаков, А.П. Коньшин, В.Г. Иванченко, Е.С. Какушкин // Сталь. – 1991. – № 12. – С. 42 - 45.
2. ПРОКАТКА АВТОЛИСТОВОЙ СТАЛИ / [КСЕНЗУК Ф.А., ТРОЩЕНКОВ Н.А., ЧЕКМАРЕВ А.П., САФЬЯН М.М. и др.]. – М.: МЕТАЛЛУРГИЯ, 1969. – 296 с.
3. Мазур В.Л. Теория и технология тонколистовой прокатки (Численный анализ и технические предложения) / В.Л. Мазур, А.В. Ноговицын // – Днепропетровск: РВА "Дніпро – VAL". – 2010. – 500 с.

4. Бельченко Г.И. ОСНОВЫ МЕТАЛЛОГРАФИИ И ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ СТАЛИ / Г.И. Бельченко, С.И. Губенко. – Киев–Донецк: Вища школа, 1987. – 240 с.
5. Иванченко В.Г. Влияние температурных условий обработки полос в непрерывно–травильных агрегатах на свойства горячекатаного металла / В.Г. Иванченко, П.Н. Смирнов, Ю.А. Токарев, Л.И. Ярославцев // В сб. научн. труд. «Повышение качества тонколистовой стали». – М.: Metallurgy, 1986. – С. 18-21.
6. Иванченко В.Г. Горячекатаный листовой прокат для холодной штамповки / В.Г. Иванченко // Тематич. сб. научн. труд. "Черная металлургия. Наука–технология–производство". – М.: Metallurgy. – 1989. – С. 246–249.
7. Иванченко В.Г. Особенности дрессировки горячекатаного листового проката / В.Г. Иванченко // Металл и литье Украины. – 1994. – № 7–8. – С. 10-13.
8. Мазур В.Л. Повышение качества листового проката / В.Л. Мазур, А.П. Качайлов, В.Г. Иванченко, Д.И. Добронравов. – К.: Техніка, 1979. – 143 с.
9. Левченко Г.В. Особенности формирования структуры листового проката при деформации в двухфазной аустенитно-ферритной области / Г.В. Левченко, С.А. Воробей, А.М. Нестеренко, Т.В. Грицай // Теория и практика металлургии. – 2007. – № 4–5. – С. 107–111.

REFERENCES

1. Frantsenyuk I.V. Thin-sheet products of various levels of ductility and strength for cold forming / I.V. Frantsenyuk, L.I. Frantsenyuk, S.S. Kolpakov, A.P. Kon'shin, V.G. Ivanchenko, E.S. Kakushkin // Steel. – 1991. – № 12. – P. 42 - 45.
2. Ksenzuk F.A. Auto sheet steel rolling / F.A. Ksenzuk, N.A. Troshchenkov, A.P. Chekmarev, M.M. Saf'yan. – М.: Metallurgy. – 1969. – 296 p.
3. Mazur V.L. Theory and technology of thin sheet rolling / V.L. Mazur, A.V. Nogo-vitsyn. – Dnepropetrovsk: RVA "Dnipro – VAL". – 2010. – 500 p.
4. Bel'chenko G.I. Fundamentals of metallography and plastic deformation of steel / G.I. Bel'chenko, S.I. Gubenko. – Kiev - Donetsk : Vishcha shkola, 1987. – 240 p.
5. Ivanchenko V.G. Influence of temperature conditions of strip processing in continuous pickling units on the properties of hot-rolled metal / V.G. Ivanchenko, P.N. Smirnov, Yu.A. Tokarev, L.I. Yaroslavtsev. – М.: Metallurgy. – 1986. – P. 18-21.
6. Ivanchenko V.G. Hot rolled sheets for cold forming / V.G. Ivanchenko. – М.: Metallurgy. – 1989. – P. 246–249.
7. Ivanchenko V.G. Features of tempering of hot-rolled sheet products/ V.G. Ivanchenko // Metal and casting of Ukraine. – 1994. – № 7–8. – P. 10-13.
8. Mazur V.L. Improving the quality of sheet steel / V.L. Mazur, A.P. Kachaylov, V.G. Ivanchenko, D.I. Dobronravov. – К.: Tehnics, 1979. – 143 p.

9. Levchenko G.V. Features of the formation for structure of sheet metal during deformation in the two-phase austenitic-ferritic region / G.V. Levchenko, S.A. Vorobey, A.M. Nesterenko, T.V. Gritsay // Teory and practice of metallurgy. – 2007. – № 4–5. – P. 107–111.

Received 17.04.2021.

Accepted 30.04.2021.

**Влияние дрессировки на структуру и свойства горячекатаной
листовой стали для холодной штамповки**

Исследовано влияние дрессировки на структуру и свойства горячекатаных стальных полос и листов, предназначенных для холодной штамповки. Установлено, что дополнительная дрессировка проката из стали 08кп и отжиг при температуре 600-800оС обеспечивает формирование уровня свойств и микроструктуру в соответствии с ГОСТ 4041–2017.

Определено, что для получения необходимого комплекса механических свойств и микроструктуры в горячекатаном толстолистовом прокате из низкоуглеродистой кипящей стали необходимо, чтобы суммарная степень деформации перед отжигом превышала критическую.

Исследовано влияние дрессировки на структуру и механические свойства горячекатаной листовой стали. Установлено, что с целью повышения пластичности горячекатаных полос и обеспечения уровня механических свойств металла и его структуры в соответствии с ГОСТ 4041–2017 целесообразно установить параметры дрессировки для получения качественной листовой стали для холодной штамповки.

**Influence of skin-rolling on the structure and properties
of hot-rolled sheet steel for cold stamping**

We investigated the influence of skin-rolling on the structure and properties of hot-rolled steel strips and sheets for cold stamping. It has been established that skin-rolling of rolled steel made of 08кп steel and annealing at a temperature of 600-800°C provides the formation of properties and microstructure in accordance with ГОСТ 4041–2017.

It was found that to obtain the required combination of mechanical properties and microstructure in hot-rolled plate made of low-carbon boiling steel, it is necessary that the total degree of deformation before annealing exceeds the critical one.

Conclusion. We investigated the influence of tempering on the structure and mechanical properties of hot-rolled sheet steel. It has been established that in order to increase the ductility of hot-rolled strips and ensure the level of mechanical properties of the metal and structure in accordance with ГОСТ 4041–2017, it is advisable to skin-rolling tempering parameters to obtain high-quality sheet steel for cold stamping.

Куцова Валентина Зиновьевна – д.т.н., профессор, заведующая кафедрой материаловедения Национальной металлургической академии Украины

Іванченко Віталій Георгієвич – кандидат технических наук

Котова Татьяна Владимировна – к.т.н., доцент кафедры материаловедения Национальной металлургической академии Украины.

Ковзель Максим Анатольевич – кандидат технических наук. доцент кафедры материаловедения Национальной металлургической академии Украины.

Куцова Валентина Зіновіївна – д.т.н., професор, завідувача кафедрою матеріалознавства Національної металургійної академії України.

Іванченко Віталій Георгійович - кандидат технічних наук.

Котова Тетяна Володимирівна – к.т.н., доцент кафедри матеріалознавства Національної металургійної академії України.

Ковзель Максим Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри матеріалознавства. Національна металургійна академія України Україна.

Kutsova Valentina – Doctor of Engineering`s Sciences, Professor, Head of Department of material science of the National Metallurgical Academy of Ukraine.

Ivanchenko Vitalii - Ph.D.

Kotova Tetiana – Ph.D., Associate Professor, Department of material science of the National Metallurgical Academy of Ukraine.

Kovzel Maxim – Ph.D. National Metallurgical Academy of Ukraine.