



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **129164** (13) **C2**
(51) МПК

C21D 8/02 (2006.01)
C22C 38/02 (2006.01)
C22C 38/06 (2006.01)
C22C 38/22 (2006.01)
C22C 38/32 (2006.01)
C22C 38/38 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2022 02488</p> <p>(22) Дата подання заявки: 17.12.2020</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 30.01.2025</p> <p>(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: PCT/IB2019/061095</p> <p>(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 19.12.2019</p> <p>(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заяву: IB</p> <p>(41) Публікація відомостей про заяву: 17.08.2022, Бюл.№ 33</p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 29.01.2025, Бюл.№ 5</p> <p>(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: PCT/IB2020/062111, 17.12.2020</p>	<p>(72) Винахідник(и): Перлад Астрід (FR), Жу Кангін (FR), Юнг Коралі (FR), Кегель Фредерік (FR)</p> <p>(73) Володілець (володільці): АРСЕЛОРМІТТАЛ, 24-26, Boulevard d'Avranches, L-1160 Luxembourg, Luxembourg (LU)</p> <p>(74) Представник: Слободянюк Алла Василівна, реєстр. №25</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: WO 2018/220430 A1, 06.12.2018 EP 2698440 A1, 19.02.2014 US 2015/329950 A1, 19.11.2015 US 2013/319582 A1, 05.12.2013 EP 3112488 A1, 04.01.2017 WO 2018/162937 A1, 13.09.2018</p>
--	--

(54) ВИСОКОМІЦНИЙ ГАРЯЧЕКАТАНИЙ СТАЛЕВИЙ ЛИСТ І СПОСІБ ЙОГО ВИГОТОВЛЕННЯ

(57) Реферат:

Винахід належить до гарячекатаного сталевих листа, склад якого містить у масових відсотках: С: 0,10-0,25, Мп: 3,5-5,0, Si: 0,80-1,60, В: 0,0003-0,004, S ≤0,010, P ≤0,020, N ≤0,008, решта являє собою залізо і немінучі домішки, що утворюються в результаті плавки, і лист має мікроструктуру в частках поверхні 50-80 % рейкового бейніту, 30 % зернистого бейніту, решта являє собою мартенсит, мартенситно-аустенітні острівці і аустенітні плівки, і містить менше 20 % мартенситу і острівців М-А, які мають добуток максимальної довжини зерна L_{max} на максимальну ширину зерна W_{max} більше 1 мкм².

UA 129164 C2

Цей винахід відноситься до високоміцного сталевго листа, який має високу в'язкість і відповідну зварюваність, і способу одержання такого сталевго листа.

Відомо, що для виготовлення різних виробів, таких як-от елементи конструкції кузова і панелі кузова для автомобілів, використовують листи, виготовлені зі сталей DP (двофазна) або сталей TRIP (пластичність, спричинена трансформацією).

Одним з основних завдань в автомобільній промисловості є зниження ваги транспортних засобів з метою підвищення їхньої паливної економічності з урахуванням глобального збереження довкілля, не нехтуючи при цьому вимогами безпеки. Щоб задовольнити цим вимогам, у сталеливарній промисловості постійно розробляються нові високоміцні сталі, щоб мати листи з покращеною деформовністю і границею міцності на розтяг, а також із підходящою пластичністю і формовністю.

Однією з розробок, спрямованих на покращення механічних властивостей, є збільшення вмісту марганцю в сталях. Присутність марганцю сприяє підвищенню пластичності сталей завдяки стабілізації аустеніту. Але у цих середньомарганцевих сталей є недоліки, які полягають у їх крихкості.

В WO 2007101921 описаний спосіб одержання гарячекатаних листів з багатофазних сталей, зокрема, із вмістом марганцю 1-3 %. Мікроструктура складається, щонайменше, з 75 % бейніту, залишкового аустеніту у кількості більшій або рівній 5 % і мартенситу більше або рівної 2 %. Для досягнення енергії руйнування зразка за Шарпі з V-подібним надрізом вище 28 Дж (що відповідає 0,52 Дж/мм²) і цільової мікроструктури необхідно контролювати процес охолодження сталевго гарячекатаного листа. Для одержання необхідних властивостей необхідні дві стадії охолодження, що ускладнює виробничий процес.

Таким чином, мета винаходу полягає в тому, щоб вирішити вищевказану проблему і запропонувати сталевий лист, який має високу ударну в'язкість за Шарпі при 20 °C вище 0,50 Дж/мм², границю міцності на розтяг TS вище або рівну 1450 МПа, високе рівномірне подовження вище або рівне 5 %, який легко обробляється за звичайною технологією. Іншою метою винаходу є створення сталевго листа, що має відповідну зварюваність.

Мета цього винаходу досягається пропозицією сталевго листа за п. 1. Сталевий лист також може мати характеристики з будь-якого з пп. 2-6. Ще одна мета досягається пропозицією способу за п. 7. Інша мета винаходу досягається пропозицією сталевго листа, що має характеристики за п. 8.

Тепер винахід буде докладно описаний і проілюстрований необмежувальними прикладами.

Тут і далі Ms означає температуру початку формування мартенситу, тобто, температуру, при якій аустеніт починає перетворюватися на мартенсит при охолодженні. Цю температуру можна розрахувати за формулою, на основі масових відсотків відповідних елементів:

$$Ms=560-(30 \%Mn+13 \%Si-15 \%Al+12 \%Mo)-600\cdot(1-\exp(-0,96 \%C))$$

Далі буде описаний склад сталі згідно винаходу, вміст якого виражено в масових відсотках.

Вміст вуглецю становить 0,10-0,25 %. Якщо вміст вуглецю дуже великий, зварюваність сталевго листа недостатня. Якщо вміст вуглецю нижчий за 0,10 %, аустенітна фракція недостатньо стабілізована для одержання цільових властивостей. У переважному здійсненні винаходу вміст вуглецю становить 0,15-0,20 %.

Вміст марганцю становить 3,5-5,0 %. При додаванні вище 5,0 % зростає ризик осьової ліквіації через погіршення в'язкості. Нижче 3,5 % кінцева структура включає недостатню частку залишкового аустеніту для одержання необхідних властивостей. У переважному здійсненні винаходу вміст марганцю становить 3,5-4,5 %.

Відповідно до винаходу, вміст кремнію становить 0,80-1,60 %. Додавання, щонайменше, 0,80 % кремнію допомагає стабілізувати достатню кількість залишкового аустеніту. Вміст кремнію вище 1,60 % погіршує в'язкість. Крім того, на поверхні утворюються оксиди кремнію, що погіршує придатність сталі до нанесення покриття. У переважному здійсненні винаходу вміст кремнію становить 1,00-1,60 %.

Відповідно до винаходу, вміст бору становить 0,0003-0,004 %. Присутність бору затримує бейнітне перетворення до нижчої температури, а бейніт, що утворюється при низькій температурі, має рейкову морфологію, яка збільшує ударну в'язкість. Крім того, бор покращує зварюваність сталевго листа. Вміст вище 0,004 % сприяє утворенню борокарбідів на границях колишніх аустенітних зерен, що робить сталь більш крихкою. При вмісті нижче 0,0003 % концентрації вільного бору, який виділяється на границі колишніх аустенітних зерен, недостатньо для підвищення в'язкості сталі. У переважному здійсненні винаходу вміст бору становить 0,001-0,003 %.

До складу сталі згідно з винаходом, необов'язково можуть бути додані деякі елементи.

Титан необов'язково може бути доданий до 0,04 % для забезпечення дисперсійного

зміцнення. Переважно на додаток до бору додають мінімум 0,01 % титану для захисту від утворення VN.

5 Ніобій може бути доданий до 0,05 % для подрібнення аустенітних зерен під час гарячої прокатки і забезпечення дисперсійного зміцнення. Переважно мінімальна кількість доданого ніобію становить 0,0010 %.

Необов'язково можна додати молібден, але не більше 0,3 %. Молібден стабілізує аустеніт і підвищує в'язкість сталі. Крім того, молібден покращує зварюваність сталевих листів. Додавання молібдену вище 0,3 % є коштовним і неефективним з точки зору необхідних властивостей.

10 Необов'язково може бути доданий алюміній у кількості до 0,90 %, оскільки він є дуже ефективним елементом для розкислення сталі в рідкій фазі під час обробки. Крім того, алюміній покращує зварюваність сталевих листів. Вміст алюмінію становить менше 0,90 %, щоб уникнути появи включень і проблем з окисленням. Переважно вміст алюмінію становить 0,10-0,90 %. Більш переважно, вміст алюмінію становить 0,20-0,90 %. Більш переважно, вміст

15 алюмінію становить 0,30-0,90 %, більш переважно 0,40-0,90 %.

Згідно з винаходом, допускається максимальний вміст хрому 0,80 %. Вище відзначений ефект насичення, додавання хрому є марним і коштовним.

20 Решту складу сталі становлять залізо і домішки, що утворилися в результаті плавки. У цьому відношенні, щонайменше, P, S і N вважаються залишковими елементами, які є немінучими домішками. Їх вміст становить менше 0,010 % S, менше 0,020 % P і менше 0,008 % N.

Зокрема, фосфор виділяється на границі зерен, і при вмісті фосфору вище 0,020 % ударна в'язкість сталі знижується.

25 Тепер буде описана мікроструктура сталевих гарячекатаних листів згідно винаходу. Наведене нижче відношення сторін є відношенням максимальної довжини L_{max} зерна до максимальної ширини W_{max} зерна, виміряної під кутом 90° до зазначеної максимальної довжини.

30 Гарячекатаний сталевий лист має мікроструктуру, яка містить у поверхневій частині від 50-80 % рейкового бейніту, менше 30 % зернистого бейніту, а решту складають мартенсит, мартенситно-аустенітні острівці (MA) і аустенітні плівки, сума яких становить 15-35 %. Більше того, менше 20 % мартенситу і M-A-острівців мають добуток максимальної довжини L_{max} зерна на максимальну ширину W_{max} зерна вище 1 мкм^2 .

35 Рейкову морфологію бейніту одержують завдяки присутності бору, який уповільнює бейнітне перетворення, і завдяки низькотемпературному змотуванню. Відповідно до цього винаходу рейковий бейніт являє собою бейніт, який має відношення сторін вище або рівне 3. Наявність 50-80 % рейкового бейніту є корисним для в'язкості гарячекатаної сталі. Зернистий бейніт має відношення сторін нижче 3.

40 Решта мікроструктури складається з мартенситу, острівців M-A і аустенітних плівок, сума яких становить 15-35 %, щоб забезпечити рівномірне подовження вище 5 %. Якщо сума мартенситу, острівців M-A і аустенітних плівок перевищує 35 %, то аустеніт в острівцях M-A і аустенітних плівках стає нестабільним і перетворюється на мартенсит, що призводить до зниження відносного подовження.

Менше 20 % фракції мартенситу і M-A острівців мають добуток L_{max} на W_{max} вище 1 мкм^2 . При вмісті вище 20 % острівці M-A перетворюються на свіжий мартенсит, що призводить до погіршення відносного подовження.

45 Мартенситно-аустенітні (M-A) острівці мають відношення розмірів нижче або рівне 2. Ці M-A острівці виникають під час змотування. Частина аустеніту перетворюється на рейковий бейніт, як описано вище. Частина аустеніту перетворюється на мартенсит, утворюючи острівці M-A під час змотування. Остання частина аустеніту залишається в кінцевій мікроструктурі. Плівки аустеніту являють собою аустеніт між рейками бейніту з відношенням сторін вище або рівним 2.

50 І острівці M-A, і аустенітні плівки покращують в'язкість сталевих гарячекатаних листів.

Гарячекатаний сталевий лист відповідний винаходу має ударну в'язкість за Шарпі при 20°C строго вище $0,50 \text{ Дж/мм}^2$, виміряну відповідно до стандартів ISO 148-1:2006(F) і ISO 148-1:2017(F). Гарячекатаний сталевий лист, згідно винаходу, має границю міцності на розтяг TS вище або рівну 1450 МПа і рівномірне подовження UE вище або рівне 5 %. Переважно, гарячекатаний сталевий лист, згідно винаходу, має загальне подовження TE строго вище 7 %.

55 TS, UE і TE вимірюють відповідно до стандарту ISO 6892-1.

Сталевий лист відповідний винаходу може бути виготовлений будь-яким відповідним способом виготовлення, і фахівець у цій галузі техніки може його визначити. Однак переважно використовувати спосіб згідно винаходу, який включає наступні стадії:

60 Напівфабрикат, придатний для гарячої прокатки, має склад сталі, описаний вище.

Напівфабрикат нагрівають до температури 1150-1300 °С, щоб полегшити гарячу прокатку, при цьому кінцева температура FRT гарячої прокатки становить 750-900 °С. Переважно, FRT становить 800-900 °С. Коли FRT вище 900 °С, кінетика бейнітного перетворення значно уповільнюється під час змотування, що призводить до утворення високої частки мартенситу, М-А острівців і аустеніту в кінцевій мікроструктурі. Крім того, наявність великої частки мартенситу і М-А острівців, що мають добуток $L_{max} \cdot W_{max}$ вище 1 μm^2 , призводить до погіршення відносного подовження.

Потім гарячекатану сталь охолоджують і змотують у рулон при температурі T_{Coil} між ($M_s - 100$ °С) і 550 °С.

Потім гарячекатаний сталевий лист охолоджують до кімнатної температури.

Після змотування лист можна протруїти для видалення продуктів окиснення.

Іншою метою винаходу є створення сталевих листів, що має відповідну зварюваність.

Зварний виріб виготовляють шляхом виготовлення двох листів гарячекатаної сталі і контактного точкового зварювання цих двох сталевих частин.

Точкове зварювання за умов стандарту ISO 18278-2 виконують на сталевих гарячекатаних листах.

У випробуванні зразки складаються з двох однакових листів сталі, зварених хрест-навхрест. Зусилля прикладають так, щоб зруйнувати точку зварювання. Це зусилля, відоме як міцність на поперечне розтягування (CTS), виражається у даН. Воно залежить від діаметра точки зварки і товщини металу, тобто товщини сталі і металевих покриттів. Воно дозволяє розрахувати коефіцієнт α , який є відношенням значення CTS до добутку діаметра точки зварки на товщину підкладки. Цей коефіцієнт виражають у даН/мм².

Відношення діаметра електрода до діаметра точки зварки рівне діаметру електрода, поділеному на діаметр розплавленої зони.

Точкові електрозварні шви, які з'єднують перший лист з другим листом, характеризуються високим опором при випробуванні на поперечний розтяг, який визначається значенням не менше 50 даН/мм², і відношення діаметра електрода до діаметра точки зварки не менше 80 %.

Тепер винахід буде проілюстровано такими прикладами, які аж ніяк не обмежують його обсяг претензій.

Приклад 1

4 зразки, склади яких наведені в таблиці 1, відливають у напівфабрикати і переробляють на сталеві листи.

Таблиця 1

Склади - Випробовувані склади наведені в наступній таблиці, в якій вміст елементів виражений у масових відсотках.

Сталь	C	Mn	Si	B	S	P	N	Ti	Nb	Mo	Al	Cr	Ms (°C)
A	0.17	3.7	1.03	0.0019	0.001	0.014	0.004	0.025	0	0.21	0.81	0,5	355
B	0.19	3.9	1.27	0.0021	0.001	0.011	0.004	0.029	0.02	0.20	0,39	0	330
C	0.18	3.5	0.97	0	0.001	0.013	0.004	0	0.03	0,20	0	0	345
D	0.17	3.6	1.01	0	0.001	0,016	0.004	0	0	0	0	0	349

Сталі A і B відповідають винаходу, а сталі C і D не відповідають винаходу.

Таблиця 2

Параметри процесу - Сталеві напівфабрикати в литому вигляді піддають повторному нагріванню до 1200 °С, гарячій прокатці і змотуванню в рулони. Застосовують такі конкретні умови

Випробування	Сталь	FRT(°C)	T_{Cool} (°C)
1	A	900	450
2	B	830	450
3	B	845	500
4	B	910	500
5	C	900	450
6	D	900	450

Підкреслені значення: не відповідають винаходу

Потім гарячекатані листи аналізують, і відповідні елементи мікроструктури, механічні

властивості і зварюваність наведені відповідно в таблицях 3, 4 і 5.

Таблиця 3

Мікроструктура гарячекатаного сталевго листа
Визначений процентний вміст фаз мікроструктури одержаного гарячекатаного сталевго листа

Випробування	Рейковий бейніт (%)	Мартенсит + М-А + аустеніт (%)	Зернистий бейніт (%)	Фракція мартенсит і острівці М-Ас $L_{max} \cdot W_{max} > 1 \text{ мкм}^2$ (%)
1	75	25	-	14
2	77	23	-	12
3	75	25	-	13
4	60	40	-	25
5	-	50	50	n.a.
6	-	60	40	n.a.

Підкреслені значення: не відповідає винаходу
n.a.: значення не оцінювалося

- 5 Поверхневі частки фаз у мікроструктурі визначають таким методом: з гарячекатаного прокату вирізають зразок, який полірують і трують відомим на рівні техніки реагентом для виявлення мікроструктури. Далі зріз досліджують з допомогою сканувального електронного мікроскопа, наприклад, з допомогою сканувального електронного мікроскопа з польовою емісійною гарматою ("FEG-SEM") при збільшенні більш ніж в 5000× в режимі вторинних електронів.
- 10 Визначення частки поверхні аустенітних плівок та острівців М-А виконують за допомогою СЕМ після травлення реагентами ніталъ або пікрал/ніталъ.
- Відповідно до цього винаходу рейковим бейнітом буде бейніт, який має відношення розмірів вище або рівне 3. Згідно винаходу, острівці М-А мають відношення розмірів нижче або рівне 2.

Таблиця 4

Механічні властивості гарячекатаного сталевго листа
Визначені механічні властивості досліджених зразків і наведені в наступній таблиці

Зразок	Ударна вязкість за Шарпі (Дж/мм ²)	TS (МПа)	UE (%)	TE(%)
1	0,89	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,81	1492	6,6	11
3	0,76	1522	7,4	11
4	0,82	1485	4,1	7
5	0,31	n.a.	n.a.	n.a.
6	0,16	n.a.	n.a.	n.a.

Підкреслені значення: не відповідають цільовим значенням
n.a.: значення не оцінювалося

15

Таблиця 5

Зварюваність гарячекатаного сталевго листа
Визначені властивості зварюваності деяких зразків наведені в наступній таблиці

Зразок	a (даН/мм ²)	Відношення діаметра електрода до плями зварки (%)
1	66	84
5	45	77
6	47	70

Підкреслені значення: не відповідають цільовим значенням

Приклади показують, що сталеві листи відповідні винаходу, а саме приклади 1-3, є єдиними листами, які демонструють всі цільові властивості через їхній специфічний склад і мікроструктуру.

20

У випробуванні 4 сталевий лист піддають гарячій прокатці при температурі FRT 910 °С, що призводить до високої частки мартенситу і острівців МА. Це призводить до рівномірного подовження менше 5 %.

Відсутність бору в сталях С і D призводить до низького рівня ударної в'язкості за Шарпі у випробуваннях 5 і 6 з утворенням понад 30 % зернистого бейніту, який знижує в'язкість руйнування сталі. Стосовно параметрів зварюваності, відсутність бору, молібдену і алюмінію негативно позначається на α і відношенні діаметра електрода до плями зварки.

5

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Гарячекатаний сталевий лист, виготовлений зі сталі, що має склад, який містить, у мас. %:

C - 0,10-0,25,
Mn - 3,5-5,0,
Si - 0,80-1,60,
B - 0,0003-0,004,
S \leq 0,010,
P \leq 0,020,
N \leq 0,008,
Ti \leq 0,04,
Mo \leq 0,3,
Al \leq 0,90,

решта - залізо і неминучі домішки, які утворюються в результаті плавки,
10 причому зазначений сталевий лист має мікроструктуру, яка включає в частках поверхні:
50-80 % рейкового бейніту з відношенням розмірів більше або рівним 3,
менше 30 % зернистого бейніту з відношенням розмірів менше 3,
решта це мартенсит і мартенситно-аустенітні М-А острівці, що мають відношення розмірів
нижче або рівне 2, і аустенітні плівки, причому загальна сума мартенситу, острівців М-А і
15 аустенітних плівок становить 15-35 %, і
менше 20 % зазначеного мартенситу і зазначених острівців М-А мають добуток максимальної
довжини зерна L_{max} на максимальну ширину зерна W_{max} більше 1 мкм².

2. Гарячекатаний сталевий лист за п. 1, в якому склад сталі додатково містить один або більше таких елементів, у мас. %:

Nb \leq 0,05,
Cr \leq 0,80.

20 3. Гарячекатаний сталевий лист за п. 1 або 2, в якому вміст марганцю становить 3,5-4,5 %.

4. Гарячекатаний сталевий лист за будь-яким з пп. 1-3, в якому вміст кремнію становить 1,00-1,60 %.

5. Гарячекатаний сталевий лист за будь-яким з пп. 1-4, в якому гарячекатаний сталевий лист має ударну в'язкість за Шарпі при 20 °С строго вище 0,50 Дж/мм².

25 6. Гарячекатаний сталевий лист за будь-яким з пп. 1-5, в якому гарячекатаний сталевий лист має границю міцності на розтяг TS вище або рівну 1450 МПа.

7. Гарячекатаний сталевий лист за будь-яким з пп. 1-6, в якому гарячекатаний сталевий лист має рівномірне подовження UE вище або рівне 5 %.

30 8. Спосіб виготовлення сталевих гарячекатаного листа, який включає наступні послідовні стадії:

розливання сталі з одержанням напівфабрикату, який має склад, зазначений в п. 1,
повторне нагрівання напівфабрикату при температурі $T_{reheat}=1150-1300$ °С,
гаряча прокатка напівфабрикату з кінцевою температурою гарячої прокатки 750-900 °С для одержання сталевих гарячекатаного листа,
охолодження гарячекатаного сталевих листа,
35 змотування гарячекатаного сталевих листа в рулон при температурі замотування T_{Coil} між (Ms-100 °С) і 550 °С для одержання рулону сталевих листа.

9. Шов контактної точкової зварювання двох сталевих частин гарячекатаного сталевих листа за будь-яким пп. 1-7 або листа, одержаного способом за п. 8, причому шов контактної точкової зварювання має значення не менше 50 даН/мм² і відношення діаметра електрода до діаметра точки зварювання не менше 80 %.