



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 114859

(13) C2

(51) МПК

C22C 38/02 (2006.01)

C22C 38/04 (2006.01)

C21D 8/02 (2006.01)

C21D 8/04 (2006.01)

C21D 9/46 (2006.01)

B23K 11/11 (2006.01)

B23K 11/16 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

(21) Номер заявки: **а 2016 01712**  
(22) Дата подання заявки: **22.07.2014**  
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: **10.08.2017**  
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: **PCT/IB2013/001609**  
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: **25.07.2013**  
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: **IB**  
(41) Публікація відомостей про заявку: **10.10.2016, Бюл.№ 19**  
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **10.08.2017, Бюл.№ 15**  
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: **PCT/IB2014/001366, 22.07.2014**

(72) Винахідник(и):  
**Перлад Астрід (FR),  
Він'є Самюель (FR),  
Кегель Фредерік (FR),  
Арлазаров Артем (FR)**  
(73) Власник(и):  
**АРСЕЛОРМІТТАЛ,**  
24-26, Boulevard d'Avranches, L-1160  
Luxembourg, Luxembourg (LU)  
(74) Представник:  
**Слободянюк Олександр Валентинович,  
реєстр. №138**  
(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:  
WO 2009142362 A1, 26.11.2009  
WO 2013038637 A1, 21.03.2013  
WO 2012147898 A1, 01.11.2012

**(54) ТОЧКОВЕ ЗВАРНЕ З'ЄДНАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВИСОКОМІЦНОЇ СТАЛІ З ВИСОКОЮ ЗДАТНІСТЮ ДО ШТАМПУВАННЯ І СПОСІБ ЙОГО ВИГОТОВЛЕННЯ****(57) Реферат:**

Цей винахід належить до точкового зварного з'єднання принаймні двох сталевих листів, в якому принаймні один сталевий лист має межу текучості, що вища або дорівнює 600 МПа, межу міцності при розтягуванні вище або дорівнює 1000 МПа і однорідне подовження вище або дорівнює 15 %. Хімічний склад основного металу включає, мас. %:  $0,05 \leq C \leq 0,21$ ,  $4,0 \leq Mn \leq 7,0$ ,  $0,5 \leq Al \leq 3,5$ ,  $Si \leq 2,0$ ,  $Ti \leq 0,2$ ,  $V \leq 0,2$ ,  $Nb \leq 0,2$ ,  $P \leq 0,025$  %,  $B \leq 0,0035$  % і точкове зварне з'єднання містить мікроструктуру розплавленої зони, що містить більше 0,5 мас. % Al, і містить частку поверхні зони утворення сегрегацій нижче 1 %, зазначені зони утворення сегрегацій є зонами більше 20 мкм<sup>2</sup> і містять кількість фосфору, що перевершує номінальний вміст фосфору в сталі.

UA 114859 C2



Винахід стосується точкового зварного з'єднання, принаймні, двох сталевих листів, причому, принаймні, межа текучості одного із сталевих листів вища або дорівнює 600 МПа, межа міцності при розтягуванні більша або дорівнює 1000 МПа, однорідне подовження більше або дорівнює 15 %.

5 В автомобільній промисловості, зокрема, існує постійна потреба в створенні полегшених транспортних засобів і підвищенні безпеки за рахунок використання і з'єднання легких сталей або сталей з високою межею міцності при розтягуванні, щоб компенсувати малу товщину. Таким чином, було запропоновано декілька груп сталей, подібних зазначеним нижче, з різними рівнями міцності.

10 Спочатку були запропоновані сталі, які мають мікролегуючі елементи, які попутно гартуються за рахунок виділень і подрібнення зерна. Розробка таких сталей продовжилася створенням сталей з підвищеною міцністю під назвою прогресивні сталі з підвищеною міцністю, які суміщають хорошу міцність з хорошою холодною формованістю.

15 Для цілей отримання ще вищої межі міцності при розтягуванні були розроблені тріп-сталі (пластичність, наведена перетворенням) із значно покращеною комбінацією властивостей (межа міцності при розтягуванні/формованість). Ці властивості пов'язані із структурою таких сталей, що складається з феритної матриці, що містить бейніт і залишковий аустеніт. Залишковий аустеніт стабілізується шляхом додавання кремнію або алюмінію, ці елементи уповільнюють виділення карбідів в аустеніті і в бейніті. Наявність залишкового аустеніту покращує пружну поведінку. Під дією подальшої деформації, наприклад, при одноосному розтягуванні, залишковий аустеніт деталі, виготовленої з тріп-сталі, поступово перетворюється на мартенсит, що призводить до істотного зміцнення і запобігання появі шийки.

20 Для досягнення ще вищої межі міцності при розтягуванні, тобто значення більше 800 - 1000 МПа, були розроблені багатофазні сталі, переважно бейнітної структури. У автомобільній промисловості або в промисловості в цілому такі сталі переважно використовуються в конструкційних деталях, таких як поперечина бампера, стійки кузова, різні підсилювачі і зносостійкі змінні деталі. Проте здатність до формування цих деталей вимагає одночасно достатнього подовження більше 10 % і не дуже високої межі текучості/межі міцності при розтягуванні так, щоб мати достатній запас пластичності.

30 Всі ці сталеві листи представляють відносно хороший баланс міцності і пластичності, але коли мова йде про складання цих листів з використанням, наприклад, традиційних методів точкового зварювання, з'являються нові вимоги. Для цього потрібні нові підходи, що забезпечують високу міцність і високу пластичність, які в той же час зварюють за допомогою існуючих методів зварювання.

35 Так, щоб зменшити чисту вагу кузова, заявка на патент EP1987904 направлена на створення продукту з'єднання сталевого продукту і алюмінієвого матеріалу та способу точкового зварювання для продукту з'єднання, що гарантує виконання точкового зварювання з високою міцністю з'єднання. У одному здійсненні сталевий продукт, що має товщину листа  $t_1$  0,3 - 3,0 мм і алюмінієвий матеріал, що має товщину листа  $t_2$  0,5 - 4,0 мм, сполучені один з одним за допомогою точкового зварювання для формування продукту з'єднання сталевого виробу і алюмінієвого продукту. У цьому продукті з'єднання площа зварної точки в місці з'єднання складає  $20 \times t_2$  0,5 -  $100 \times t_2$  0,5 мм<sup>2</sup>, площа частини, де товщина межі розділу реакційного шару складає 0,5 - 3 мкм, рівна  $10 \times t_2$  0,5 мм<sup>2</sup> або більше, а різниця між товщиною межі розділу реакційного шару в центрі точки з'єднання і товщиною межі реакційного шару в точці, віддаленій від центру точки з'єднання на відстань однієї чверті діаметру зварної точки  $D_c$ , складає 5 мкм або менше. Відповідно запропонований продукт з'єднання різнорідних матеріалів з відмінною міцністю з'єднання, який може бути сформований за допомогою існуючого пристрою точкового зварювання при низькій вартості без використання інших матеріалів, таких як плакований матеріал. Це виконується без додавання окремої стадії і методом точкового зварювання для продукту з'єднання різнорідних матеріалів. Такий спосіб припускає зварювання сталевго листа з алюмінієвим, міцність матеріалу зварної точки матиме слабку область на стороні алюмінію в порівнянні із стороною сталі.

50 US2012141829 пропонує з'єднання точковим зварюванням, яке включає, принаймні, один тонкий сталевий лист з межею міцності при розтягуванні 750 - 1850 МПа і вуглецевим еквівалентом  $C_{eq}$ , рівним або більшим 0,22 - 0,55 %мас., і в якому зварювальна пляма формується на межі розділу тонких сталевих пластин. У зоні зовнішнього шару зварювальної точки мікроструктура складається з дендритної структури, в якій середнє значення відстані між дендритами рівне або менше 12 мкм, середній діаметр зерна карбідів, що містяться в мікроструктурі, складає 5 - 100 нм, і щільність карбідів рівна або більша  $2 \times 10^6$ /мм<sup>2</sup>. Така заявка належить не до сталей третього покоління, а тільки до звичайних.

Жоден з зазначених способів відомого рівня техніки не вирішує задачу зварювання сталей з нестандартним вмістом легуючих елементів в сталі, яка залишається невирішеною.

Цей винахід належить до точкового зварного з'єднання, принаймні, двох сталевих листів, з яких, принаймні, один із сталевих листів є сталевим листом, легованим алюмінієм, з:

- 5 - межею текучості вищою або рівною 600 МПа
- межею міцності при розтягуванні вищою або рівною 1000 МПа
- однорідним подовженням більшим або рівним 15 %.

Зварне з'єднання характеризується:

- 10 - розплавленою зоною, що містить, принаймні, 0,5 %мас. Al і часткою поверхні зони утворення грубозернистих сегрегацій нижчою 1 %. Зони грубозернистих сегрегацій визначаються як зони більше 20 мкм<sup>2</sup>, що містять, принаймні, номінальний вміст фосфору основного металу;

- необов'язково мікроструктура розплавленої зони включає щільність карбідів заліза більше 50 нм, рівну або вищу 2x10<sup>6</sup> на мм<sup>2</sup>;

- 15 - необов'язково мікроструктура на межі між розплавленою зоною і сталлю відповідно до цього винаходу не включає мартенсит 18R усередині феритних зерен.

Іншою метою винаходу є створення способу виконання такого зварного з'єднання сталі, яка легко може бути прокатана в холодному стані до кінцевої товщини, сумісного із звичайними лініями безперервного відпалу і мало залежного від параметрів процесу.

- 20 Першим об'єктом винаходу є точкове зварне з'єднання, принаймні, двох сталевих листів, принаймні, один з яких виконаний із сталі, що легованої алюмінієм, включає в масових відсотках:

$$0,05 \leq C \leq 0,21 \%$$

$$4,0 \leq Mn \leq 7,0 \%$$

- 25  $0,5 \leq Al \leq 3,5 \%$

$$Si \leq 2,0 \%$$

$$Ti \leq 0,2 \%$$

$$V \leq 0,2 \%$$

$$Nb \leq 0,2 \%$$

- 30  $P \leq 0,025 \%$

$$B \leq 0,0035 \%$$

$$S \leq 0,004 \%$$

Решту композиції складає залізо і немінучі домішки, що виникають при плавці, причому зазначена сталь характеризується межею текучості вищою або рівною 600 МПа, межею міцності при розтягуванні більшою або рівною 1000 МПа і однорідним подовженням вищим або рівним 15 %, мікроструктура зазначеної сталі містить 20 – 50 % аустеніту, 40 % - 80 % відпаленого фериту, менше 25% мартенситу і точкове зварне з'єднання характеризується мікроструктурою розплавленої зони, що містить більше 0,5 % Al і , що містить частку поверхні грубозернистих сегрегацій, меншу 1 %. Ділянки грубозернистих сегрегацій визначаються як зони більше 20 мкм<sup>2</sup>, що містять фосфор в кількості, що перевершує вміст фосфору в сталі.

- 40 У іншому переважному здійсненні зазначена сталь, легована алюмінієм, має хімічний склад з таким вмістом алюмінію, що  $1,0 \leq Al \leq 3,0 \%$  або навіть  $1,0 \leq Al \leq 2,5 \%$ .

Переважний вміст кремнію в хімічному складі зазначеної сталі, легованої алюмінієм, складає  $Si \leq 1,5 \%$  або навіть  $Si \leq 1,0 \%$ .

- 45 У переважному здійсненні зазначена мікроструктура сталі, легованої алюмінієм, містить 50 – 70 % відпаленого фериту.

У переважному здійсненні зазначена сталь, легована алюмінієм, включає менше 20 % мартенситу.

- 50 Переважно щільність карбідів заліза більше 50 нм дорівнює або вища 2x10<sup>6</sup> на мм<sup>2</sup> в розплавленій зоні точкового зварного з'єднання.

Переважно мікроструктура на межі між розплавленою зоною і сталлю відповідно до винаходу не включає орторомбічну голчасту фазу мартенситу 18R в середині феритних зерен.

Метою винаходу також є збірка з двох сталевих листів, що включає точкове зварне з'єднання відповідно до винаходу.

- 55 Другою метою винаходу є спосіб отримання точкового зварного з'єднання, принаймні, двох сталевих листів, принаймні, один з яких є сталевим листом, легованим алюмінієм, причому спосіб здійснюють шляхом:

- відливання сталі, легованої алюмінієм, з складом відповідно до цього винаходу для отримання сляба,

- 60 - повторним нагрівом сляба при температурі  $T_{нагріву} 1150 - 1300 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,

- гарячої прокатки повторно нагрітого сляба при температурі 800 - 1250 °С для отримання гарячекатаної сталі, причому останній прохід гарячої прокатки відбувається при температурі  $T_{\text{гр}}$  вищій або рівній 800 °С,

5 - охолодження гарячекатаної сталі при 1 – 150 °С/с до температури намотування  $T_{\text{намотки}}$  меншій або рівній 650 °С,

- потім намотування гарячекатаної сталі охолодженої до  $T_{\text{намотки}}$ ,

- необов'язково відпалом гарячекатаної сталі в камерній печі при 400 – 600 °С протягом 1 - 24 год., або безперервним відпалом при 650 - 750 °С протягом 20 - 180 с.

10 Також метою винаходу є спосіб безпосереднього отримання сталі за допомогою ливарної машини, в якому продукт відразу після відливання піддають прокатці. Цей процес називається "Розливання тонкого сляба".

Потім проводять:

- видалення окалини з гарячекатаного сталевго листа;

15 - холодну прокатку сталевго листа з обтисканням при холодній прокатці 30 – 70 % для отримання холоднокатаного сталевго листа;

- нагрів сталевго листа із швидкістю нагріву  $H_{\text{швидкість}}$ , принаймні, рівній 1 °С/с до температури відпалу  $T_{\text{відпалу}}$ ;

- відпал сталі при температурі  $T_{\text{відпалу}}$  між  $T_{\text{min}}$  і  $T_{\text{max}}$ , визначуваними

$$T_{\text{min}} = 721 - 36 \cdot C - 20 \cdot \text{Mn} + 37 \cdot \text{Al} + 2 \cdot \text{Si} \text{ (} ^\circ\text{C)}$$

$$20 \quad T_{\text{max}} = 690 + 145 \cdot C - 6,7 \cdot \text{Mn} + 46 \cdot \text{Al} + 9 \cdot \text{Si} \text{ (} ^\circ\text{C)}$$

протягом 30 - 700 секунд,

- охолодження сталевго листа із швидкістю охолодження переважно 5 - 70 °С/с;

різання холоднокатаного сталевго листа для отримання холоднокатаного сталевго листа;

25 - зварювання, принаймні, одного з холоднокатаних сталевих листів з іншим металом з ефективною інтенсивністю 3 - 15 кА і зусиллям, що додається до електродів 150 - 850 даН, де діаметр опорної поверхні зазначеного електроду складає 4 – 10 мм;

- необов'язкове охолодження сталевго листа з  $V_{\text{охолодження2}}$  до температури  $T_{\text{ОА}}$  між 350 °С і 550 °С і витримку при  $T_{\text{ОА}}$  протягом 10 - 300 секунд для нанесення гарячого покриття;

30 - подальше охолодження сталевго листа із швидкістю охолодження  $V_{\text{охолодження3}}$  переважно вищою 5 °С/с і нижчою 70 °С/с до кімнатної температури для отримання холоднокатаного і відпаленого сталевго листа.

Необов'язково холоднокатану і відпалену сталь витримують при температурі  $T_{\text{витримки}}$  між 170 і 400 °С протягом  $t_{\text{витримки}}$  200 – 800 с.

35 У переважному здійсненні холоднокатаний сталевий лист згідно винаходу після відпалу покривають Zn або Zn сплавом.

У іншому здійсненні холоднокатаний сталевий лист згідно винаходу після відпалу покривають Al або Al сплавом.

40 Необов'язкове точкове зварне з'єднання відповідно до винаходу після зварювання піддають термічній пост-обробці, в якій застосовується струм 60 – 90 % від струму зварювання протягом 0,1 - 2 секунд.

Сталеві листи або збірка двох сталевих листів, отримані зварюванням відповідно до винаходу, можуть бути використані для виготовлення конструкційних деталей автомобілів для нефарбованих кузовів автомобілів в автомобільній промисловості.

45 Інші ознаки і переваги винаходу стануть очевидними з нижченаведеного докладного опису. Креслення, що додаються, приведені як приклади і не повинні розглядатися як такі, що обмежують об'єм домагань цього винаходу. Вони наступні:

- Фіг. 1 ілюструє зміну твердості гарячекатаних матеріалів B1, C1, E1 і F1,

- Фіг. 2 ілюструє міцність при розтягуванні гарячекатаних матеріалів B1, C1, E1 і F1,

50 - Фіг. 3 ілюструє міцність при розтягуванні холоднокатаних матеріалів B1, C1, E1 і F1 до відпалу,

- Фіг. 4А представляє міцність при розтягуванні холоднокатаних і відпалених матеріалів B1, C1, E1 і F1,

- Фіг. 4В представляє міцність при розтягуванні холоднокатаних і відпалених матеріалів G1, H1, H2, H3 і I2,

55 - Фіг. 5 представляє зображення скануючого електронного мікроскопа розплавленої зони після травлення ніталом і аналізу зображень, що підкреслює вплив вмісту алюмінію на частинки цементиту (білого кольору) в мікроструктурі збірок A+A, B+B, C+C і E+E, як показано в таблиці 5,

- Фіг. 6 представляє міцність гетерогенного зварного шва, що характеризується випробуванням на розтягування хрестоподібного зразка (A, B, C, E і F, зварювання з J),

60 - Фіг. 7 ілюструє коефіцієнт CTS залежно від вмісту Al (A, B, C, E і F, зварювання з J)

гетерогенна),

- Фіг. 8 представляє межі регулювання зварювального струму гомогенного зварювання (А, В, С, Е і F),

5 - Фіг. 9 представляє межі регулювання зварювального струму гетерогенного зварювання (А, В, С, Д і Е, зварювання з J),

- Фіг. 10 представляє результати випробувань міцності гетерогенної зварювання на зріз при розтягуванні (А, В, С, Е і F, зварювання з J),

10 - Фіг. 11 представляє мікрофотографії точкового зварювального з'єднання сталі, легованої алюмінієм, що містить 2,9 і 3,9 % Al (точкове зварювання Е+Е і F+F, як описано в таблиці 5), та ілюстрацію мартенситу 18R,

- Фіг. 12 представляє мікротвердість гомогенного точкового зварювання (А, В, С, Е і F),

- Фіг. 13 представляє мікротвердість гетерогенного точкового зварювання, з використанням сталі, легованої алюмінієм, і звичайної двофазної сталі з міцністю 600 МПа (А, В, С, Е і F зварювання з J),

15 - Фіг. 14 ілюструє вплив вмісту алюмінію в розплавленій зоні на твердість (А, В, С, Е і F гетерогенне зварювання з J),

- Фіг. 15 представляє вид пошкодження залежно від вмісту Al в сталі, легованій алюмінієм, 1 - 4% (зліва направо) для В, С, Е і F,

20 - Фіг. 16А представляє долі гетерогенних пробкових зварних швів для прикладів А, В, С, Е і F зварювання з J,

- Фіг. 16В представляє частки гомогенних пробкових зварних швів для прикладів G і H,

- Фіг. 17 дає схематичний опис випробувань на зріз при розтягуванні і поперечному розтягуванні, використовуваних для характеристики міцності точкового зварювання,

25 - Фіг. 18 дає необмежуючий приклад частки пробкових зварних швів і геометрії розплавленої зони між сталлю, легованою алюмінієм, відповідно до винаходу і двофазної сталі 600 (DP). Н є висотою MZ, PD є діаметром пробки, MZ-D є діаметром MZ, де MZ означає розплавлену зону,

- Фіг. 19 представляє зображення результатів мікрозондового аналізу з порогом, рівним номінальному вмісту Р, що показує вплив Al на сегрегацію Р для А, В, С, Е,

30 - Фіг. 20 А і 20В ілюструють частку областей поверхні із вмістом Р вищим номінального як залежність від їх розміру, Фіг. 20А для прикладів А, В, С, Е, і Фіг. 20В для G і H,

- Фіг. 21 представляє зміну частки областей поверхні, що перевищують 20 мкм<sup>2</sup>, із вмістом Р, що перевищує номінальне в розплавленій зоні залежно від вмісту Al для А, В, С, Е,

35 - Фіг. 22А і 22В ілюструють коефіцієнт CTS залежно від вмісту Al з пост-обробкою і без: А для прикладів А, В, С, Е і F гомогенного зварювання і В для прикладів А, В, С, Е і F зварювання з J.

Цей винахід належить до точкового зварного з'єднання двох сталевих листів, причому, принаймні, один із сталевих листів, званий сталлю, легованою алюмінієм, має межу текучості при розтягуванні більшу або яка дорівнює 600 МПа, межа міцності при розтягуванні більша або дорівнює 1000 МПа, однорідне подовження більше або дорівнює 15 %. Основний метал з хімічним складом, що включає більше 0,5 % Al, легко піддається зварюванню і холодній прокатці до його необхідної кінцевої товщини. Для того, щоб досягти таким чином всі цілі, дуже важливим є хімічний склад, а також параметри відпалу. Представлений елементний хімічний склад наведений в масових відсотках.

45 Відповідно до винаходу вміст вуглецю складає 0,05 - 0,21 %. Вуглець є елементом, формуючим гамма-фазу. Це сприяє при вмісті Mn в діапазоні винаходу стабілізації аустеніту. Нижче 0,05 % важко досягти міцності при розтягуванні вище 1000 МПа. Якщо вміст вуглецю більше 0,21 %, то здатність до холодної прокатки знижується і зварюваність погіршується. Переважний вміст вуглецю складає 0,10 - 0,21 %.

50 Вміст марганцю повинен складати 4,0 - 7,0 %. Цей елемент, що також є стабілізатором аустеніту, використовується для достатньої стабілізації аустеніту в мікроструктурі. Він також забезпечує твердорозчинне зміцнення і ефект подрібнення мікроструктури. Для вмісту Mn менше 4,0 % частка залишкового аустеніту в мікроструктурі складає менше 20 % і не досягається комбінація рівномірного подовження вище 15 % і міцності при розтягуванні вище 1000. Вище 7,0 %, зварюваність погіршується, тоді як сегрегація і включення погіршують властивості.

60 Що стосується алюмінію, його вміст повинен складати 0,5 - 3,5 %. Додавання алюмінію вище 0,5% мас. цікаве в багатьох аспектах для збільшення стабільності залишкового аустеніту за рахунок збільшення вмісту вуглецю в залишковому аустеніті. Al дозволяє зменшити жорсткість гарячої смуги, яка потім легко може бути піддана холодній прокатці до кінцевої товщини, як показано на Фіг. 1 – 3. Стійкість також поліпшується при відпалі при додаванні Al. Додавання Al

призводить до зниження зміни частки аустеніту залежно від температури, що призводить до поліпшення пробкового зварного шва, як показано на Фіг. 15 - 16. Крім того, Al є найбільш ефективним елементом, коли мова йде про розширення діапазону температури відпалу при безперервному відпалі, оскільки це сприяє поєднанню покращеної рекристалізації при температурах вищих за температуру, при якій не відбувається рекристалізація і стабілізація аустеніту. Вміст алюмінію повинен бути нижчим або дорівнювати 3,5 %, щоб уникнути утворення крупних зерен первинного фериту, що формуються в ході тверднення і не перетворюються на аустеніт при подальшому охолодженні, що призводить до межі міцності при розтягуванні нижчої 1000 МПа. Слід розуміти, що, оскільки Al є альфагенним, тоді як C і Mn обидва є гаммагенними, вміст Al, оптимальний для обмеження формування крупних зерен первинного фериту, зменшується, коли знижується вміст C і Mn.

Алюміній також шкідливий для безперервного розливання, оскільки ливарний порошок може реагувати з рідким металом, кінетика реакції збільшується, коли підвищується вміст алюмінію. Ці крупні зерна первинного фериту зменшують міцність при розтягуванні нижче 1000 МПа. Як наслідок, вміст Al складає переважно 1,0 - 3,0 % і переважніше 1,0 - 2,5 %.

Кремній також дуже ефективний для підвищення міцності за рахунок формування твердого розчину. Проте його вміст обмежений 2,0 %, оскільки вище за це значення навантаження при прокатці дуже збільшується і ускладнюється гаряча прокатка. Здатність до холодної прокатки також зменшується. Переважно, щоб уникнути тріщин на бічній кромці смуги, вміст кремнію складає менше 1,5 % або навіть менше 1,0 %.

Мікролегуючі елементи, такі як титан, ванадій і ніобій можуть бути додані відповідно в кількості менше 0,2 % кожного, для того, щоб отримати додаткове дисперсійне тверднення. Зокрема, титан і ніобій використовують для контролю розміру зерна в ході тверднення. Одне обмеження проте необхідне, тому що поза ним досягається ефект насичення.

Що стосується сірки, при вмісті вище 0,004 %, пластичність знижується через присутність надлишку сульфідів, таких як MNS, зокрема, випробування на роздачу дає нижчі значення у присутності таких сульфідів.

Фосфор є елементом, який підвищує твердість в твердому розчині, але який знижує зварюваність методом точкового зварювання і пластичність в гарячому стані, зокрема, через його схильність до сегрегації на межах зерен або спів-сегрегації з марганцем. З цих причин його вміст повинен бути обмежений 0,025 % і переважно 0,020 %, щоб отримати хорошу зварюваність методом точкового зварювання.

Максимальний вміст бору, допустимий у винаході, складає 0,0035 %. Вище за таку межу можна чекати насичення щодо спроможності приймати гарт.

Решта складу сталі складається із заліза і немінучих домішок. Рівень домішок означає менше 0,04 % таких елементів, як Ni, Cr, Cu, Mg, Ca...

Мікроструктура сталі містить в долях поверхні 20 – 50 % аустеніту, 40 – 80 % фериту і відпаленого мартенситу нижче 25 %. Сума цих мікроструктурних фаз складає більше 95 %. Решта складається з немінучих дрібних виділень, таких як карбіди.

Вміст аустенітної структури, яка додає пластичність, повинен бути вищим 20 %, так що сталь за винаходом є достатньо пластичною з однорідним подовженням більше 15 %, і вміст аустенітної структури повинен бути нижчим 50 %, тому що вище за це значення погіршується баланс механічних властивостей.

Ферит у винаході визначається кубічною об'ємноцентрованою структурою, що отримується при поверненні і рекристалізації при відпалі, або з початкового фериту, що формується під час тверднення або з бейніту, або мартенситу гарячекатаного сталевго листа. Отже, термін відпалений ферит означає, що більше 70 % фериту рекристалізовано. Рекристалізований ферит характеризується значенням середнього розорієнтування за вимірюванням SEM-EBSD, нижчим 3° усередині зерен. Його вміст повинен складати 40 – 80 %, щоб мати мінімум міцності при розтягуванні 1000 МПа, принаймні, і межу текучості 600 МПа, і однорідне подовження, принаймні, 15 %.

Мартенсит є структурою, що утворюється при охолодженні після витримки з нестабільного аустеніту при відпалі. Його вміст повинен бути обмежений 25 %, так що однорідне подовження залишається вищим 15 %. Конкретний вид мартенситу є так званою структурою мартенситу 18R, яка представляє орторомбічну голчасту фазу з певною кристалографічною структурою, яка була ідентифікована і добре описана Cheng et al. [W.-C.Cheng, C.-F. Liu, Y.-F. Lai, Scripta mater., 48 (2003), pp. 295-300].

Спосіб отримання сталі відповідно до винаходу припускає розливання сталі з хімічним складом за винаходом.

Сталевий виливок нагрівають до 1150 - 1300 °C. Коли температура нагріву сляба нижча

1150 °C, значно підвищується навантаження при прокатці і ускладнюється гаряча прокатка. Вище 1300 °C окислення дуже інтенсивне, що призводить до втрат на окалину і погіршення поверхні.

Гарячу прокатку повторно нагрітого сляба виконують при температурі 1250 - 800 °C, останній прохід гарячої прокатки відбувається при температурі  $T_{\text{пр}}$  вищій або рівній 800 °C. Якщо  $T_{\text{пр}}$  нижча 800 °C, оброблюваність в гарячому стані знижується.

Після гарячої прокатки, сталь охолоджують із швидкістю охолодження  $V_{\text{охолодження1}}$  1 - 150 °C/с, до температури намотування  $T_{\text{намотки}}$  меншої або рівної 650 °C. Нижче 1 °C/с, формується грубозерниста мікроструктура і погіршується баланс кінцевих механічних властивостей. Вище 150 °C/с, процес охолодження важко контролювати.

Температура намотування  $T_{\text{намотки}}$  повинна бути нижча або рівна 650 °C. Якщо температура намотування вища 650 °C, формується грубозерниста структура фериту і бейніту, що призводить до більш гетерогенної мікроструктури після холодної прокатки і відпалу.

Необов'язково сталь піддають проміжному відпалу на цій стадії, щоб зменшити її жорсткість і полегшити подальший процес холодної прокатки і зрештою уникнути утворення тріщин при холодній прокатці. Температура відпалу повинна складати 450 - 600 °C в інтервалі 1 - 24 годин у разі відпалу в камерній печі або 650 - 750 °C в інтервалі 20 - 180 з у разі безперервного відпалу.

Наступна стадія полягає у видаленні окалини і холодній прокатці сталі з обтисканням при холодній прокатці 30 - 70%, так щоб отримати холоднокатану сталь завтовшки звичайно 0,6 - 3 мм. Нижче 30% рекристалізація при подальшому відпалі проходить недостатньо і не досягається однорідне подовження вище 15% через недостатню рекристалізацію. Вище 70% існує ризик утворення краєвих тріщин при холодній прокатці.

Відпал може бути виконаний нагрівом сталі із швидкістю нагріву  $H_{\text{швидкості}}$ , що, принаймні, дорівнює 1 °C/с до температури відпалу  $T_{\text{відпалу}}$ . Така температура  $T_{\text{відпалу}}$  має мінімальні і максимальні значення відповідно до наступних рівнянь:

$$- T_{\text{min}} = 721 - 36^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{Mn} + 37^{\circ}\text{Al} + 2^{\circ}\text{Si}, \text{ в }^{\circ}\text{C}$$

$$- T_{\text{max}} = 690 + 145^{\circ}\text{C} - 6,7^{\circ}\text{Mn} + 46^{\circ}\text{Al} + 9^{\circ}\text{Si}, \text{ в }^{\circ}\text{C}$$

де елементний хімічний склад приведений в масових відсотках.

Контроль температури відпалу є важливою ознакою процесу, оскільки він дозволяє контролювати частку аустеніту і його хімічний склад, а також рекристалізацію сталі згідно винаходу. Нижче  $T_{\text{min}}$  не формується мінімальна частка аустеніту або його стабільність дуже висока, що призводить до обмеженої міцності при розтягуванні нижче 1000 МПа. Вище  $T_{\text{max}}$ , існує ризик формування дуже великої кількості мартенситу, що призводить до обмеженого однорідного подовження нижче 15%.

Після відпалу сталевий лист охолоджують із швидкістю охолодження 5 - 70 °C/с.

Необов'язково сталевий лист охолоджують до температури  $T_{\text{ОА}}$  350 - 550 °C і витримують при  $T_{\text{ОА}}$  протягом 10 - 300 с. Було показано, що така термічна обробка, яка полегшує покриття Zn методом гарячого занурення, наприклад, не впливає на кінцеві механічні властивості.

Необов'язково холоднокатаний і відпалений сталевий лист відпускають при температурі  $T_{\text{відпуску}}$  170 - 400 °C протягом  $T_{\text{відпуску}}$  200 - 800 с. Ця обробка забезпечує мартенсит відпуску, який може бути сформований при охолодженні після витримки з нестабільного аустеніту. Твердість мартенситу, таким чином, зменшується і пластичність сталі підвищується. Нижче 170 °C відпуск недостатньо ефективний. Вище за 400 °C втрати міцності стають високими і баланс між міцністю і пластичністю далі не поліпшується.

Холоднокатаний і відпалений сталевий лист потім піддають точковому зварюванню так, щоб отримати зварне з'єднання з високою міцністю.

Для здійснення точкового зварювання відповідно до винаходу, параметри зварювання можуть бути визначені таким чином. Ефективний струм може складати 3 - 15 кА. Як не обмежувачий приклад струм зварювання відповідно до винаходу показаний на Фіг. 8 - 9. Зусилля, що докладається до електродів становить 150 - 850 даН. Робочий діаметр електроду складає 4 - 10 мм. Відповідне точкове зварювання визначається характерним розміром його розплавленої зони. Висота розплавленої зони складає 0,5 - 6 мм і діаметр 3 - 12 мм, як на Фіг. 18.

Точкове зварне з'єднання відповідно до винаходу характеризується мікроструктурою розплавленої зони, що містить частку грубозернистих зон утворення сегрегацій на поверхні нижчу 1%. Грубозернисті зони утворення сегрегацій визначаються як зони більше 20 мкм<sup>2</sup>, що містять фосфор в кількості, що перевищує номінальний вміст фосфору в основному металі. Вище за таку величину сегрегація дуже висока, що призводить до зменшення ударної в'язкості зварної точки, як на Фіг. 19 - 21.

Крім того, щільність карбідів заліза більше 50 нм мікроструктури зони розплаву, дорівнює



або вище  $2 \times 10^6$  на  $\text{мм}^2$ . Нижче за таку щільність мартенсит недостатньо відпущений і мікроструктура зварної точки недостатньо міцна, як на Фіг. 5, 12 - 14.

Переважно, принаймні, одна сторона зварного з'єднання, мікроструктура на межі між розплавленою зоною і сталь відповідно до винаходу зовсім не містять мартенсит 18R усередині феритних зерен так, що зона крупного зерна зберігає достатню міцність, як на Фіг. 11 для 3% вмісту Al.

Необов'язкове точкове зварне з'єднання відповідно до винаходу піддають термічній пост-обробці для подальшого поліпшення міцності зварної точки, як показано на Фіг. 22A і 22B. Така пост-обробка може бути виконана як при гомогенному так і гетерогенному зварюванні. Пост-обробка в печі полягає в обробці зварного з'єднання за режимом аустенізації вище  $1000^\circ\text{C}$  протягом не менше 3 хвилин з подальшим швидким охолодженням, тобто вище  $50^\circ\text{C/s}$ .

Пост-обробка на місці полягає після зварювання в двохстадійній обробці:

- перша стадія без пропускання струму, принаймні, 0,2 секунд
- на другій стадії, що полягає в пропусканні через зварну точку струму 60 - 90% від середнього струму, що пропущається під час зварювання, так, щоб проходив відпуск мартенситу і поліпшувалася ударна в'язкість зварної точки і зони термічного впливу. Загальний час стадії 1 і стадії 2 складає 0,1 - 2 секунд.

Винахід буде краще зрозумілим з наступними не обмежувочними прикладами. Дійсно, точкове зварювання сталі винаходу може бути отримане з будь-якими іншими сталями, як, наприклад: сталі з невеликою кількістю металевих включень, двофазні сталі, ТРІП сталі, термозміцнені сталі, загартовані під пресом сталі, багатофазні сталі.

Напівфабрикати були приготовані сталевим литтям. Хімічний склад напівфабрикатів, виражений в масових відсотках, показаний в таблиці 1 нижче. Решта частини складу сталі в таблиці 1, складається із заліза і немінучих домішок, що виникають в результаті плавки.

Таблиця 1:

Хімічний склад (мас.%)

	C	Mn	Al	Si	P	S	Nb
A	0,209	4,91	0,024	0,013	0,02	0,001	
B	0,196	5,01	1,03	0,012	0,022	0,002	
C	0,192	5,03	1,87	0,014	0,021	0,002	
D	0,188	4,9	1,9	0,017	0,02	0,002	
E	0,189	5,01	2,85	0,02	0,02	0,0021	
F	0,175	4,77	3,72	0,024	0,02	0,0023	
G	0,109	5,28	0,02	0,52	0,018	0,0034	
H	0,109	5,17	1,81	0,507	0,017	0,0035	
I	0,123	5,05	1,71	0,521	0,008	0,004	0,032
J	0,089	1,82	0,01	0,145	0,015	0,003	

Вміст Ti і V в сталях А - J нижчий 0,010%. Вміст бору нижчий 35 частин на мільйон.

Сталі А - І спочатку повторно нагрівають і піддають гарячій прокатці до листа 2,4 мм завтовшки. Сталь J є звичайною двофазною сталлю з міцністю при розтягуванні 600 МПа, наприклад, такий тип сталі відомий фахівцям в даній області техніки, він використовується як сталь з якою зварюють сталі А - І у випадках гетерогенного зварювання. Гарячекатані сталеві листи А - І потім піддають холодній прокатці і відпалюють. Параметри виконуваного процесу наведені в таблиці 2 з наступними аббревіатурами:

- $T_{\text{нагріву}}$ : температура нагріву
- $T_{\text{пр}}$ : температура чистової прокатки
- $V_{\text{охолодження1}}$ : швидкість охолодження після останнього проходу гарячої прокатки
- $T_{\text{намотки}}$ : температура намотування
- $IA\ T$ : температура проміжного відпалу, що виконується з гарячою смугою
- $IA\ t$ : тривалість проміжного відпалу, що виконується з гарячою смугою
- Ступінь обтискання: ступінь обтискання при холодній прокатці
- $H_{\text{швидкість}}$ : швидкість нагріву
- $T_{\text{відпалу}}$ : температура витримки при відпалі.
- $t_{\text{відпалу}}$ : тривалість витримки при відпалі.
- $V_{\text{швидкість2}}$ : швидкість охолодження після відпалу до кімнатної температури.

Таблиця 2:

умови гарячої прокатки, холодної прокатки і відпалу

	T <sub>нагріву</sub> (°C)	T <sub>p</sub> (°C)	V <sub>намотки1</sub> (°C/c)	T <sub>охол</sub> (°C)	IA T (°C)	IA t (хв.)	O <sub>бтискання</sub> (%)	H <sub>швидкість</sub> (°C/c)	T <sub>min</sub>	T <sub>max</sub>	T <sub>відпалу</sub> (°C)	t <sub>відпалу</sub> (с)	V <sub>охол2</sub> (°C/c)
A1	1250	950	8	650			70	10	616	689	700	60	10
B1	1250	940	8	600			50	10	652	732	710	120	8
C1	1250	940	8	600			50	10	683	770	720	120	8
D1	1250	900	8	650			50	10	687	772	710	150	5
D2	1250	900	8	650			50	10	687	772	720	150	5
D3	1250	900	8	650			50	10	687	772	730	150	5
D4	1250	900	8	20			50	10	687	772	710	150	5
D5	1250	900	8	20			50	10	687	772	720	150	5
D6	1250	900	8	20			50	10	687	772	730	150	5
D7	1250	900	8	550			50	10	687	772	710	150	5
D8	1250	900	8	550			50	10	687	772	720	150	5
D9	1250	900	8	550			50	10	687	772	730	150	5
D10	1250	900	8	550	700	2	50	10	687	772	710	150	5
D11	1250	900	8	550	700	2	50	10	687	772	720	150	5
D12	1250	900	8	550	700	2	50	10	687	772	730	150	5
D13	1250	900	8	550	700	2	50	10	687	772	740	150	5
D14	1250	900	8	550	500	300	50	10	687	772	710	150	5
D15	1250	900	8	550	500	300	50	10	687	772	720	150	5
D16	1250	900	8	550	600	300	50	10	687	772	720	150	5
D17	1250	900	8	550	600	300	50	10	687	772	730	150	5
D18	1250	900	8	550			70	10	687	772	710	150	5
D19	1250	900	8	550			70	10	687	772	720	150	5
D20	1250	900	8	550			70	10	687	772	730	150	5
E1	1250	940	8	600			50	10	719	815	770	120	8
F1	1250	900	65	450			50	10	757	855	810	120	8
G1	1250	900	8	600	600	300	50	10	613	676	690	150	8
H1	1250	900	8	600	600	300	50	10	682	759	740	150	8
H2	1250	900	8	600	600	300	50	10	682	759	770	150	8
H3	1250	900	8	600	700	2	50	10	682	759	740	150	8
I1	1250	900	8	600	600	300	50	20* **	680	757	730	150	8
I2	1250	900	8	600	600	300	50	20*	680	757	740	150	8
I3	1250	900	8	600	600	300	50	20*	680	757	750	150	8

У таблиці 2 "порожня комірка" означає, що проміжний відпал не виконується, і "\*" означає, що швидкість нагріву складає 20 °C/c до 600 °C і потім 1 °C/c до температури відпалу.

У таблиці 3 представлені наступні характеристики:

- 5 • Ферит: "OK" відноситься до присутності фериту з об'ємною часткою 40 - 80% в мікроструктурі відпаленого листа. "KO" відноситься до порівняльних прикладів, коли частка фериту знаходиться поза цим діапазоном.
- 10 • Аустеніт: "OK" відноситься до присутності аустеніту з об'ємною часткою 20 - 50% в мікроструктурі відпаленого листа. "KO" відноситься до порівняльних прикладів, коли частка аустеніту знаходиться поза цим діапазоном.
- 15 • Мартенсит: "OK" відноситься до присутності або відсутності мартенситу з об'ємною часткою менше 25% в мікроструктурі відпаленого листа. "KO" відноситься до порівняльних прикладів, коли частка мартенситу перевищує 25%.
- UTS (МПа) відноситься до міцності при розтягуванні, виміряної випробуванням на розтягування в подовжньому напрямку по відношенню до напрямку прокатки.
- YS (МПа) відноситься до межі текучості, виміряної випробуванням на розтягування в подовжньому напрямку по відношенню до напрямку прокатки.
- UEI (%) відноситься до однорідного подовження, виміряного випробуванням на розтягування в подовжньому напрямку по відношенню до напрямку прокатки.
- 20 • YS/UTS позначає відношення межі текучості до межі міцності при розтягуванні.
- TEL відноситься до загального подовження, виміряного на зразку ISO 12,5x50.

Таблиця 3:

## Властивості холоднокатаних і відпалених листів

	Ферит	Аустеніт	Мартенсит	YS(МПа)	TS (МПа)	UEI (%)	YS/TS	EI	TS*EI
A1	OK (48%)	OK (26%)	KO (26%)	499	1250	14	0,4	15,4	19250
B1	OK (55%)	OK (45%)	OK (5%)	860	1075	23	0,8	25,9	27896
C1	OK (60%)	OK (40%)	OK (0%)	812	1023	24	0,79	27,0	27621
D1	OK	OK	OK	872	1082	26	0,81	30,7	33253
D2	OK	OK	OK	824	1171	21	0,7	24,2	28338
D3	OK	OK	OK	758	1239	17	0,61	20,5	25338
D4	OK	OK	OK	865	1018	27	0,85	33,3	33865
D5	OK	OK	OK	837	1150	21	0,73	24,9	28673
D6	OK	OK	OK	792	1228	18	0,64	21,2	26075
D7	OK	OK	OK	882	1101	28	0,8	33,0	36333
D8	OK	OK	OK	817	1187	19	0,69	22,4	26589
D9	OK	OK	OK	769	1252	17	0,61	20,0	24998
D10	OK	OK	OK	883	1033	27	0,85	33,6	34743
D11	OK	OK	OK	872	1085	29	0,8	34,8	37722
D12	OK	OK	OK	806	1154	24	0,7	29,8	34351
D13	OK	OK	OK	774	1217	21	0,64	24,6	29979
D14	OK	OK	OK	810	1056	27	0,77	31,8	33546
D15	OK	OK	OK	683	1224	16	0,56	18,6	22766
D16	OK	OK	OK	787	988	26	0,8	30,1	29706
D17	OK	OK	OK	755	1078	22	0,7	26,1	28100
D18	OK	OK	OK	718	1146	18	0,63	21,6	24792
D19	OK	OK	OK	904	1098	28	0,82	30,9	33965
D20	OK	OK	OK	880	1154	24	0,76	27,8	32081
D21	OK	OK	OK	796	1252	17	0,64	18,7	23412
E1	OK (61%)	OK (37%)	OK (2%)	698	1007	23	0,69	26,7	26887
F1	OK (35%)	OK (65%)	OK (0%)	560	840	26	0,67	29,4	24696
G1	OK (52%)	KO (17%)	KO (31%)	701	10 <sup>6</sup> 0	13	0,66	14,4	15264
H1	OK (68%)	OK (27%)	OK (5%)	624,5	1002	17	0,62	19,7	19689
H2	OK (57%)	KO (15%)	KO (28%)	516	1138	9	0,45	10,3	11665
H3	OK	OK	OK	690,5	1006,5	18	0,69	21,1	21237
I1	OK	OK	OK	875	1026,5	18	0,85	20,6	21146
I2	OK	OK	OK	845,5	10 <sup>6</sup> 3	17	0,80	20,0	21207
I3	OK	OK	OK	804,5	1082	16	0,74	18,6	20071

5 Сталі А - І потім зварюють точковим зварюванням з DP 600 GI як приклад параметрів зварювання, представлених в таблиці 4: товщина листа для матеріалу А - І і DP600 GI складає 1,2 мм. Параметри зварювання однакові для марок і відрізняються тільки між гомогенним і гетерогенним зварюваннями.

Таблиця 4:

## Параметри зварювання сталі

	Частота струму (Гц)	Час стискання (період)	Час зварювання (період)	Час витримки (період)	Діаметр активної площі електроду (мм)	Сила стискання електроду (даН)
Гомогенна	50	70	14	14	6	400
Гетерогенна	50	70	15	15	6	400

Різні значення пояснені тут нижче:

- Діапазон зварювального струму: діапазон зварювального струму (також званий

інтенсивністю зварювання) виражається в кА. Мінімум діапазону зварювального струму визначається зварювальним струмом, необхідним для отримання зварювальної точки діаметром  $4,25\sqrt{t}$  або більше, де  $t$  представляє товщину матеріалу в мм. Максимум діапазону зварювального струму визначається струмом, при якому відбувається виплеск розплавленого металу із зварної точки.

- Альфа значення є максимальним навантаженням при випробуванні в поперечному напрямку, діленим на діаметр зварної точки і товщину. Це нормалізоване навантаження для міцності точкового зварювання, виражена в даН/мм<sup>2</sup>.

Параметри пробкового шва: параметри пробкового шва представляють діаметр пробкового шва, ділений на діаметр MZ. Чим нижчий параметр пробкового шва, тим нижча ударна в'язкість розплавленої зони, як показано на Фіг. 18.

Таблиця 5:

Результати точкового зварювання. CGHAZ означає крупне зерно в зоні термічного впливу

З'єднання	Середня твердість пробкового шва(Hv)	Мікро-структура пробкового шва	Наявність фериту на межі MZ/CGHAZ	Числова щільність карбиду більше 50 нм в пробковому шві (мм <sup>2</sup> )	Частка поверхні укрупненої зони сегрегації (%)	Діапазон зварювального струму (кА)	Альфа CTS (даН/мм <sup>2</sup> )	Середня міцність TSS (даН)
A1+a1	535	Мартенсит	Немає	$0,72 \times 10^6$	1,32	2	21	790
B1+b1	505	Мартенсит	Немає	$3,12 \times 10^6$	0,26	2,5	28	1644
D1+D1	480	Мартенсит	Немає	$8,66 \times 10^6$	0,083	2,5	38	1590
E1+e1	422	Байніт+ дельта ферит	Так	$9,55 \times 10^6$	0,041	1,8	52	1800
F1+F1	308	Мартенсит+дельта ферит	Так	Не визн.	Не визн.	2	29	1213
A1+j1	487	Мартенсит	Немає	Не визн.	Не визн.	2,8	26	813
B1+j1	443	Мартенсит	Немає	Не визн.	Не визн.	2,3	37	951
D1+J1	456	Мартенсит	Немає	Не визн.	Не визн.	2	39	1004
E1+j1	464	Мартенсит	Так	Не визн.	Не визн.	1,9	53	1070
F1+J1	405	Мартенсит	Так	Не визн.	Не визн.	2	30	697
G1+G1	502	Мартенсит	Немає	Не визн.	2,83	2,4	31	1439
H1+h1	451	Мартенсит	Немає	$6,17 \times 10^6$	0,22	1,6	77	1599
I1+l1	Не визн.	Мартенсит	Немає	Не визн.	Не визн.	Не визн.	85	Не визн.
G1+J1	Не визн.	Мартенсит	Немає	Не визн.	Не визн.	3	52	1522
H1+j1	Не визн.	Мартенсит	Немає	Не визн.	Не визн.	1,6	90	1407

Всі холоднокатані і відпалені сталі, приготовані з хімічним складом B, C, D, E, H (за винятком H2) і I, отримані відповідно до винаходу, їх YS вище 600 МПа, межа міцності при розтягуванні вища 1000 МПа і однорідне подовження 15 %, як показано на Фіг. 4А для B1, C1, E1 і F1 (порівняння) і Фіг. 4В для G1, H1, H2, H3 і I2, де G1 і H2 є порівнянням. Хімічний склад, а також мікроструктура знаходиться в заданих межах; також були дотримані технологічні параметри винаходу. A1, F1, G1 і H2 не відповідають винаходу. Міцнісні випробування зварних точок виконані відповідно до методики, показаної на Фіг. 17. Вони називаються випробуванням на зсув при розтягуванні і поперечні випробування на розтягування. Ці випробування використовують для визначення міцності зварного шва. Як показано на Фіг. 6, 7 і 10, міцність точкового зварювання зростає з вмістом Al в діапазоні вмісту Al винаходу.

Крім того вивчення травлення макро-зразків може виявити діаметр пробкового шва (Фіг. 11), а також проникнення і зварну мікроструктуру в різних зонах.

Коли мова йде про термічну пост-обробку, як видно з Фіг. 22, показник межі міцності при поперечному розтягуванні додатково поліпшується цією зазначеною обробкою точкового зварного з'єднання, принаймні, одної сталі, що містить Al. Це пов'язано з альфагенним ефектом Al, який забезпечує відпуск нижче Ac1, що запобігає повторній аустенізації при зварюванні

критичних частин зварного з'єднання.

Збірка сталевих листів відповідно до винаходу буде переважно використана для виготовлення конструкційних або деталей для забезпечення безпеки в автомобільній промисловості.

5

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Точкове зварне з'єднання принаймні двох сталевих листів, в якому принаймні один лист виконаний зі сталі, легованої алюмінієм, що включає, в мас. %:

10  $0,05 \leq C \leq 0,21,$  $4,0 \leq Mn \leq 7,0,$  $0,5 \leq Al \leq 3,5,$  $Si \leq 2,0,$  $Ti \leq 0,2,$ 15  $V \leq 0,2,$  $Nb \leq 0,2,$  $P \leq 0,025,$  $B \leq 0,0035$  $S \leq 0,004,$ 

20 решта є залізом і неминучими домішками, що утворюються при плавці, при цьому зазначений лист із сталі, легованої алюмінієм, має межу текучості, вищу або рівну 600 МПа, межу міцності при розтягуванні, більшу або рівну 1000 МПа, і однорідне подовження вище або рівне 15 %, мікроструктура зазначеного листа зі сталі, легованої алюмінієм, містить 20-50 % аустеніту, 40-80 % відпаленого фериту, менше 25 % мартенситу, причому мікроструктура розплавленої зони точкового зварного з'єднання містить більше 0,5 % Al і містить частку поверхні зони утворення сегрегацій, нижчу 1 %, зазначеними зонами утворення сегрегацій є зони більше 20 мкм<sup>2</sup> і які містять кількість фосфору, що перевищує номінальний вміст фосфору у зазначеній сталі, легованій алюмінієм.

2. Точкове зварне з'єднання за п. 1, в якому вміст алюмінію в хімічному складі сталі, легованої алюмінієм, такий, що:  $1,0 \leq Al \leq 3,0$  мас. %.

3. Точкове зварне з'єднання за п. 2, в якому вміст алюмінію в хімічному складі сталі, легованої алюмінієм, такий, що:  $1,0 \leq Al \leq 2,5$  мас. %.

4. Точкове зварне з'єднання за пп. 1-3, в якому вміст кремнію в хімічному складі сталі, легованої алюмінієм, такий, що:  $Si \leq 1,5$  мас. %.

35 5. Точкове зварне з'єднання за п. 4, в якому вміст кремнію в хімічному складі сталі, легованої алюмінієм, такий, що:  $Si \leq 1,0$  мас. %.

6. Точкове зварне з'єднання за пп. 1-5, в якому мікроструктура зазначеної сталі, легованої алюмінієм, містить 50-70 % відпаленого фериту.

40 7. Точкове зварне з'єднання за пп. 1-6, в якому мікроструктура зазначеної сталі, легованої алюмінієм, містить менше 20 % мартенситу.

8. Точкове зварне з'єднання за пп. 1-7, в якому зазначене з'єднання містить карбіди заліза розміром більше 50 нм, щільність яких дорівнює або вища  $2 \times 10^6$  на мм<sup>2</sup>, і мікроструктура на межі між розплавленою зоною і зазначеною сталлю, легованою алюмінієм, не містить орторомбічної голчатої фази мартенситу 18R всередині феритних зерен.

45 9. Збірка двох сталевих листів, що включає точкове зварне з'єднання за будь-яким з пп. 1-8.

10. Спосіб виконання точкового зварного з'єднання принаймні двох сталевих листів, в якому принаймні один з листів є листом сталі, легованої алюмінієм, за будь-яким з пп. 1-8, що включає наступні послідовні стадії:

відливання сталі, легованої алюмінієм, зі складом, зазначеним в будь-якому з пп. 1-5, для отримання сляба,

50 нагрів сляба при температурі  $T_{\text{нагріву}}$  1150-1300 °C,

гарячу прокатку нагрітого сляба при температурі 800-1250 °C для отримання гарячекатаної сталі, де останній прохід гарячої прокатки проходить при температурі  $T_{1p}$  вище або рівній 800 °C,

55 охолодження гарячекатаної сталі при 1-150 °C/с до температури намотування  $T_{\text{намотки}}$ , нижчої або рівної 650 °C, потім

намотування гарячекатаної сталі, охолодженої до  $T_{\text{намотки}}$ ,

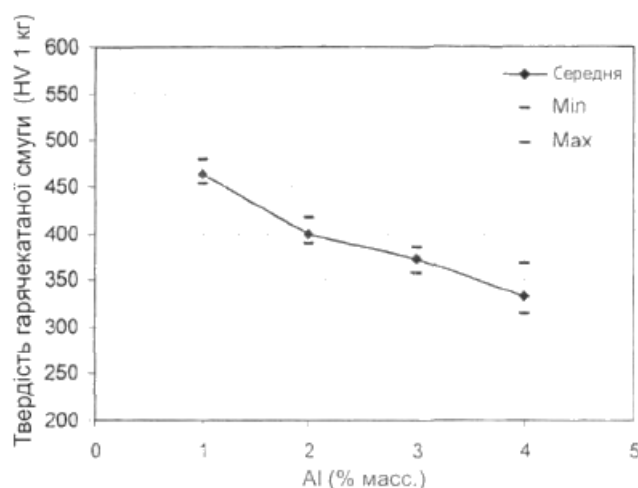
видалення окалини,

холодну прокатку із ступенем обтискання холодної прокатки 30-70 % для отримання

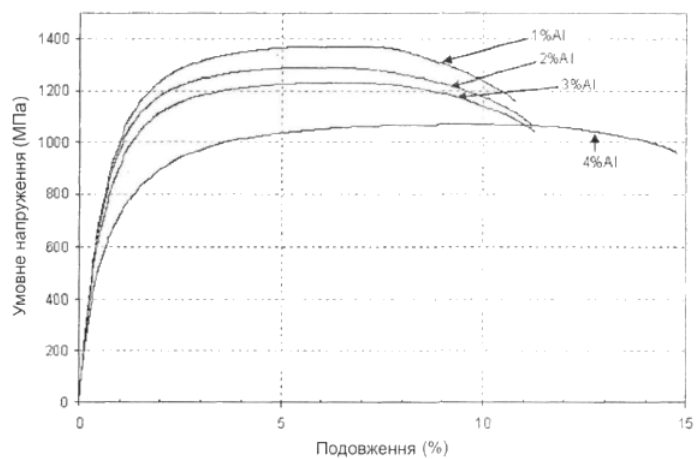
60 холоднокатаного сталевих листа,

нагрів зі швидкістю  $H_{\text{швидкості}}$ , принаймні рівною  $1\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ , до температури відпалу  $T_{\text{відпалу}}$ , відпал при температурі  $T_{\text{відпалу}}$  між  $T_{\text{min}}$  і  $T_{\text{max}}$ , визначуваними  
 $T_{\text{min}}=721-36^{\circ}\text{C}-20^{\circ}\text{Mn}+37^{\circ}\text{Al}+2^{\circ}\text{Si}$ , ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_{\text{max}}=690+145^{\circ}\text{C}-6,7^{\circ}\text{Mn}+46^{\circ}\text{Al}+9^{\circ}\text{Si}$ , ( $^{\circ}\text{C}$ )

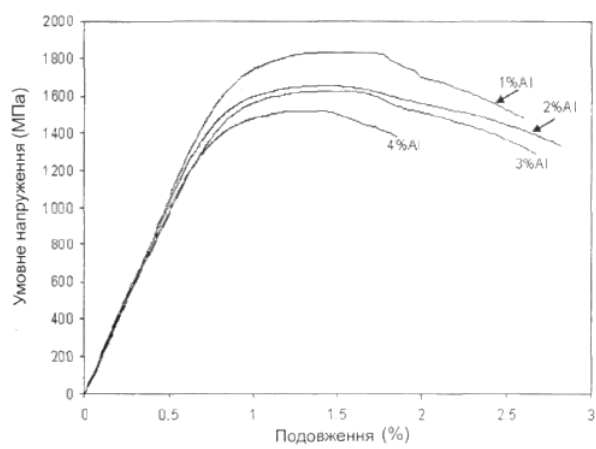
- 5 протягом 30-700 с,  
охладжування до необхідної температури  $T_{\text{OA}}$  зі швидкістю охолоджування, яка складає  $5-70\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ ,  
різання холоднокатаної сталі на листи для отримання холоднокатаних сталевих листів,  
зварювання принаймні одного із зазначених холоднокатаних сталевих листів з іншим металом
- 10 ефективним струмом 3-15 кА і зусиллям, що докладається до електродів 150-850 даН з діаметром активної площі зазначеного електроду 4-10 мм.  
11. Спосіб виконання точкового зварного з'єднання за п.10, в якому гарячекатаний сталевий лист додатково відпалюють в камерній печі при  $400-600\text{ }^{\circ}\text{C}$  протягом 1-24 годин.  
12. Спосіб виконання точкового зварного з'єднання за п. 10, в якому гарячекатаний сталевий лист додатково безперервно відпалюють при  $650-750\text{ }^{\circ}\text{C}$  протягом 20-180 с.
- 15 13. Спосіб виконання точкового зварного з'єднання за п. 10 або 11, в якому відливання сталі проводять за допомогою тонкослябової ливарної машини для отримання зазначеного гарячекатаного сталевих листа.  
14. Спосіб виконання точкового зварного з'єднання за п. 10, в якому зазначена необхідна температура є температурою  $T_{\text{OA}}$  між  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$  і витримка при  $T_{\text{OA}}$  складає 10-300 с.
- 20 15. Спосіб виконання точкового зварного з'єднання за п. 14, в якому сталевий лист додатково охолоджують до кімнатної температури із швидкістю охолоджування вище  $V_{\text{охолодження3}}$ , вище  $5\text{ }^{\circ}\text{C/s}$  і нижче  $70\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ , для отримання холоднокатаного і відпаленого сталевих листа.  
16. Спосіб виконання точкового зварного з'єднання за пп. 10-14, в якому сталевий лист додатково відпускають при температурі  $T_{\text{відпуску}}$   $170-400\text{ }^{\circ}\text{C}$  протягом  $t_{\text{відпуску}}$  200-800 с.
- 25 17. Спосіб виконання точкового зварного з'єднання за пп. 10-15, в якому після відпалу холоднокатаний сталевий лист додатково покривають Zn або Zn сплавом.  
18. Спосіб виконання точкового зварного з'єднання за пп. 10-15, в якому після відпалу холоднокатаний сталевий лист додатково покривають Al або Al сплавом.
- 30 19. Спосіб виконання точкового зварного з'єднання за пп. 10-17, в якому додатково здійснюють термічну пост-обробку струмом, що становить 60-90 % струму зварювання, протягом 0,1-2 секунд.  
20. Конструкційна деталь, що містить точкове зварне з'єднання або збірку з двох сталевих листів за будь-яким з пп. 1-9, або точкове зварне з'єднання, виконане способом за будь-яким з пп. 10-19.
- 35 21. Транспортний засіб, що містить точкове зварне з'єднання, конструкційну деталь або збірку за будь-яким з пп. 1-9, або виконане способом за будь-яким з пп. 10-19.



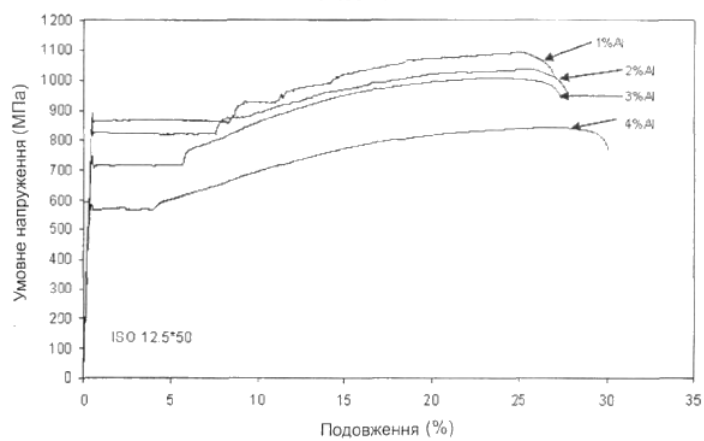
Фіг. 1



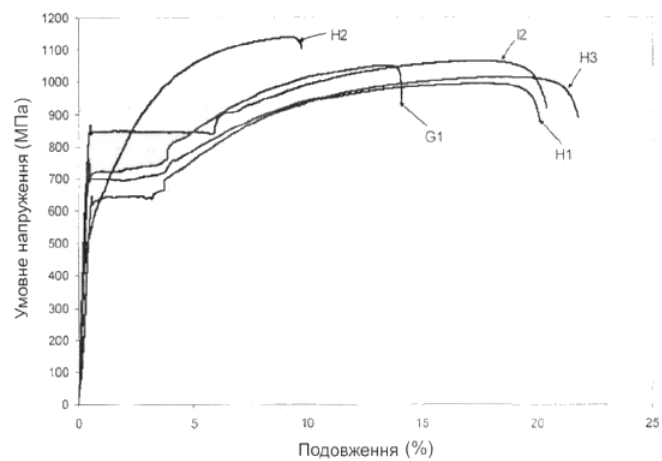
Фіг. 2



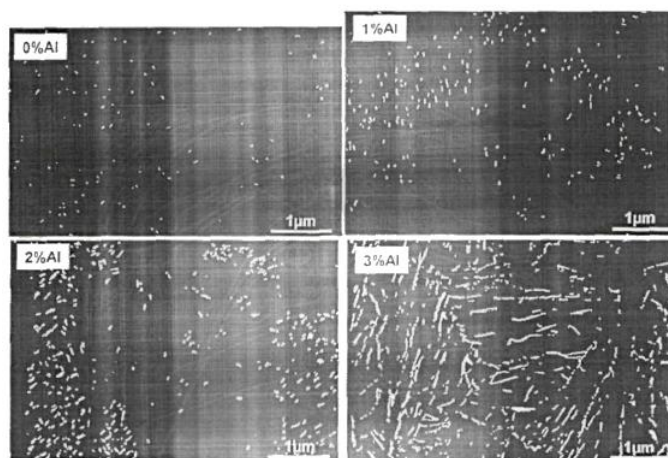
Фіг. 3



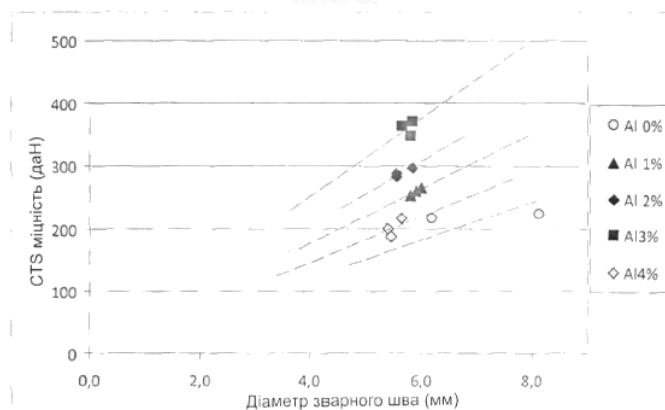
Фіг. 4A



Фіг. 4В

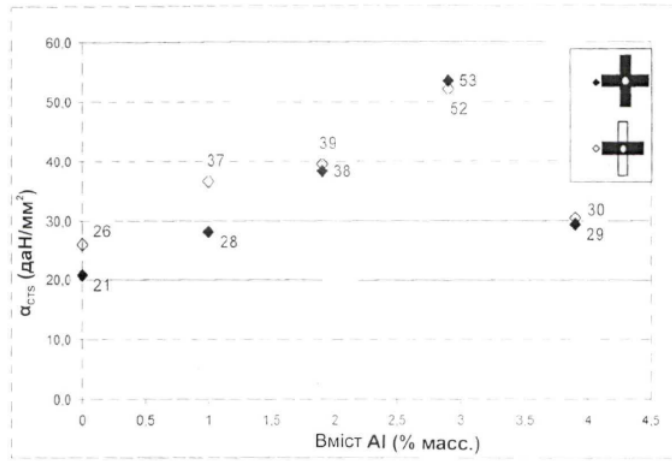


Фіг. 5

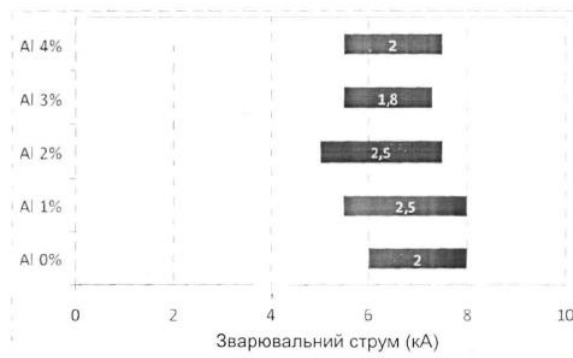


Фіг. 6

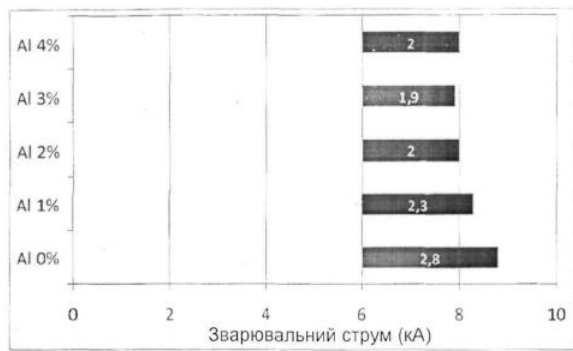




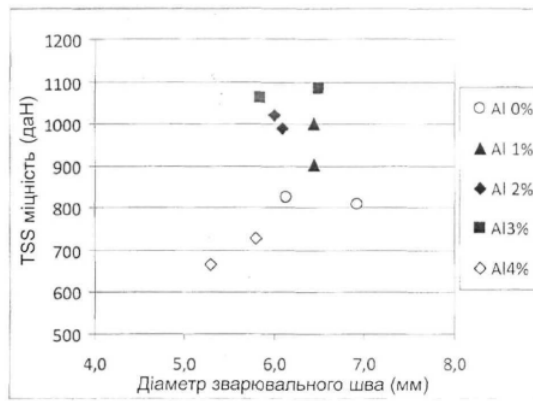
Фіг. 7



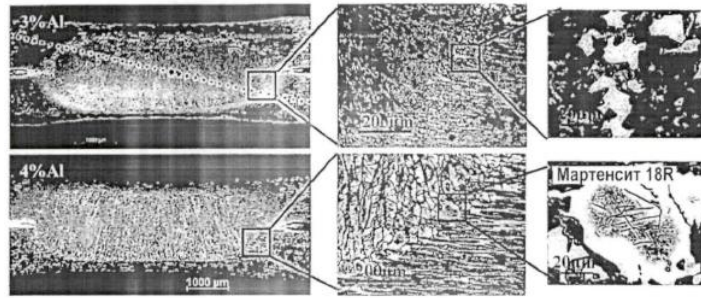
Фіг. 8



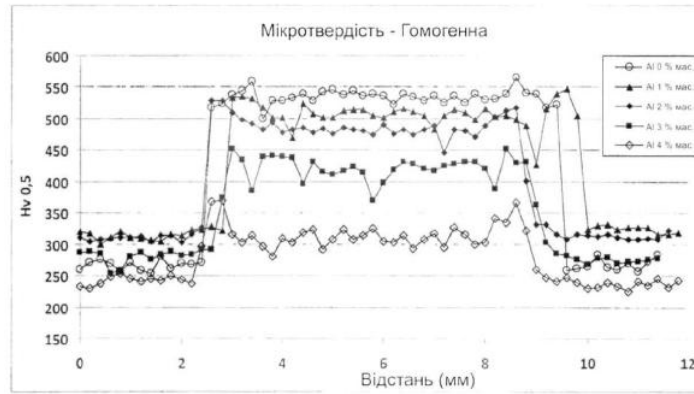
Фіг. 9



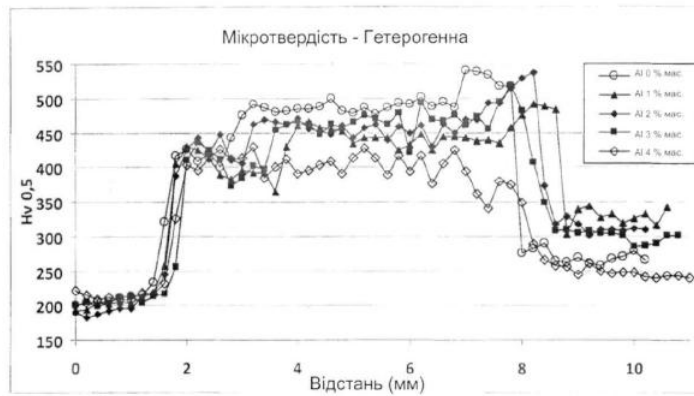
Фіг. 10



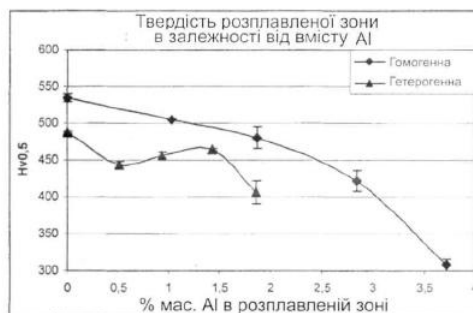
Фіг. 11



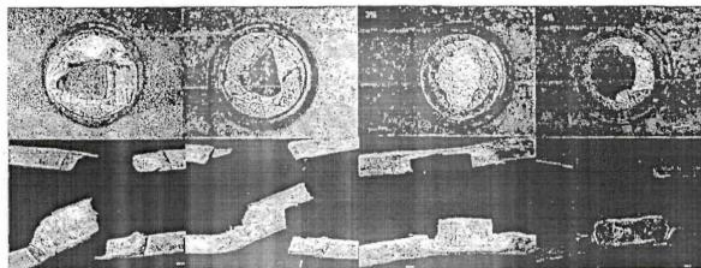
Фіг. 12



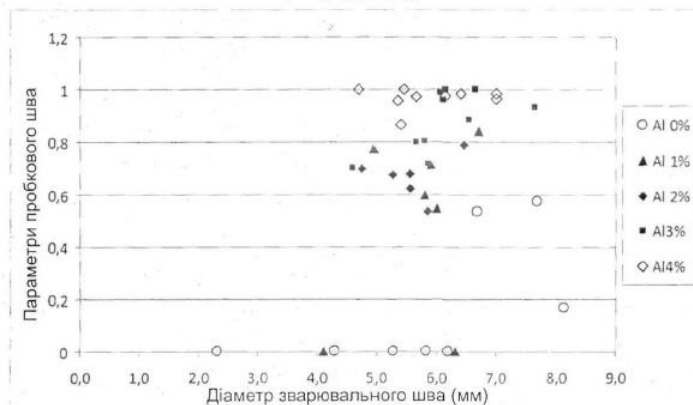
Фіг. 13



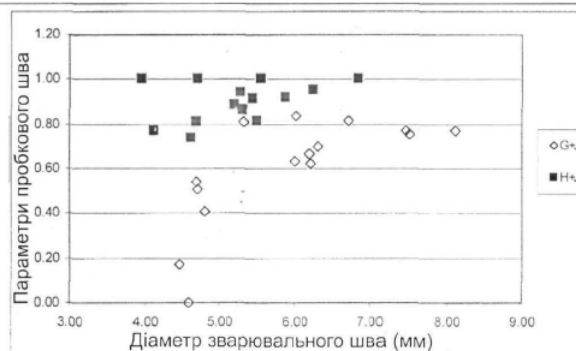
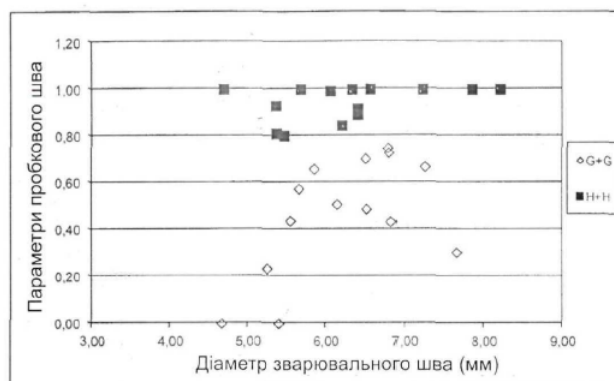
Фіг. 14



Фіг. 15



Фіг. 16А



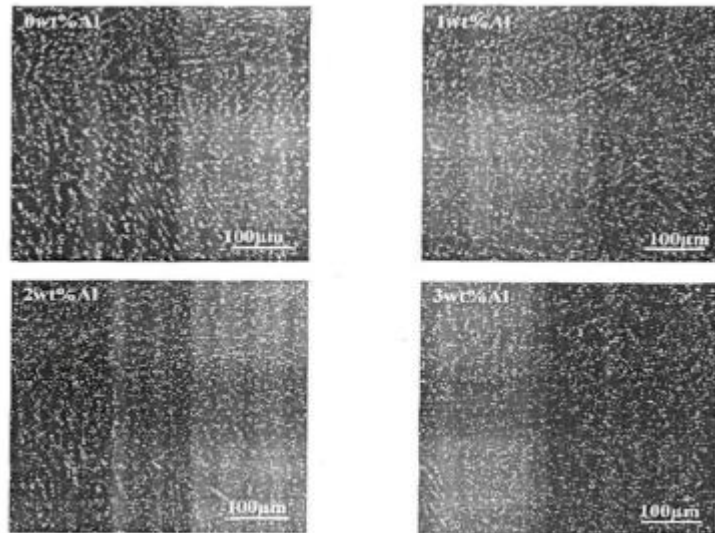
Фіг. 16В



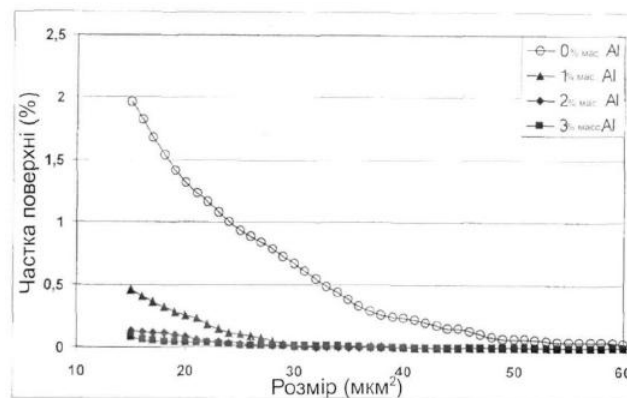
Фіг. 17



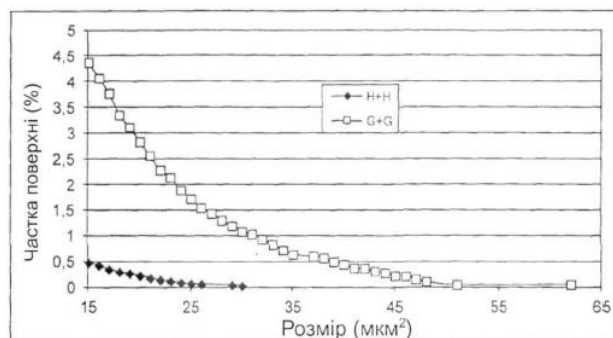
Фіг. 18



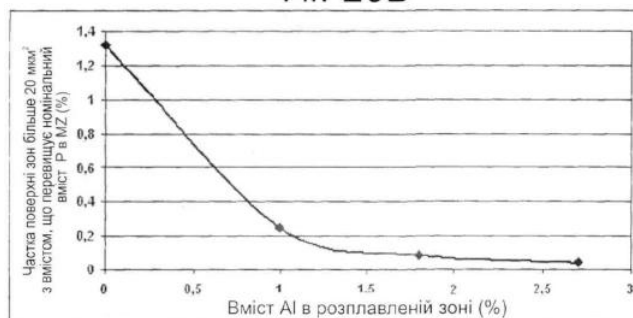
Фіг. 19



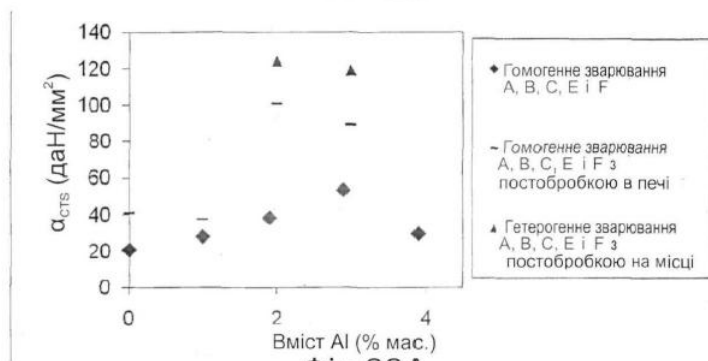
Фіг. 20А



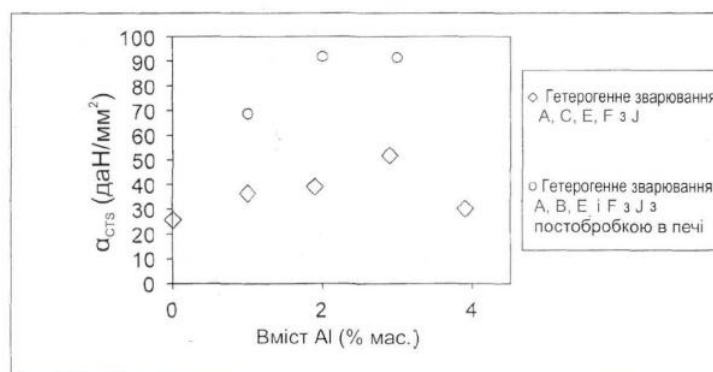
Фіг. 20В



Фіг. 21



Фіг. 22А



Фіг. 22В

Комп'ютерна верстка О. Рябо

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601