

УДК 621.74.04:669.112.22

Ю. Жигуц<sup>1</sup>, канд. техн. наук; В. Лазар<sup>2</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Ужгородський національний університет

<sup>2</sup>Мукачівський державний університет

## РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ ТЕРМІТНОГО ЗВАРЮВАННЯ СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ

**Резюме.** У роботі проаналізовано недоліки способів отримання зварних швів із термітних сплавів. Запропоновано використання монтажного шприца для нанесення розробленої металотермічної пасти, яка дозволяє не тільки економити легуючі матеріали при отриманні якісного зварного з'єднання, а й проводити термітне зварювання у місцях, віддалених від джерел електроенергії, промислового обладнання для зварювання. Саме таким чином можна наносити бокові й стикові шви, а розроблену технологію використати при терміновому зварюванні заготовок і нанесенні покриттів.

**Ключові слова:** сталь, металотермія, термітне зварювання, металотермічна паста.

Yu. Zhiguts, V. Lazar

## THE TECHNOLOGY OF THERMITE WELDING OF STEEL DETAILS FOR KEEP RESOURCES

**The summary.** The analysis of lacks of methods of receipt of the welded guy-sutures is in-process conducted from thermite alloys. The use of assembling syringe is offered for causing of the developed metalothermic paste, which allows not only to save alloying materials at the receipt of the high-quality welded connection but also conduct the thermite welding in places remote from the sources of electric power, industrial equipment, for welding. Exactly it is thus possible to inflict lateral and butt guy-sutures, and the developed technology can be used for the urgent welding of purveyances and overcoating.

**Key words:** steel, metallthermic, thermite welding, metallothermic paste.

**Вступ.** Металотермічні процеси почали досліджувати й використовувати, починаючи з позаминулого століття. Уже в 1855 році французький хімік Анрі Етьєн Сент-Клер Девіль – автор першого промислового способу отримання алюмінію – запропонував використання металотермічних реакцій [1], а в 1901 році І.В. Петров опублікував [2] одну з перших робіт, у якій дослідив алюмінотермічний процес, що використовували для плавлення маловуглецевої сталі. Металотермічні процеси вивчали також з 1865 року Н.Н. Бекетов [2], Ч.М. Холл [1] та ін. З кінця 30-их років ХХ століття роботи цього напрямку набувають нового розвитку завдяки широкому застосуванню порошкових алюмінієвих матеріалів [3], а в кінці 60-их років вагомий внесок у теорію і практику металотермічних процесів зробили Н.П. Лякішев [4], Д.Ф. Чернега, В.А. Новохацький, А.О. Жуков [5] та ін.

Суть металотермічних реакцій – у відновленні металом з більшою хімічною активністю металу з меншою активністю із його оксиду. Екзотермічна взаємодія елементів відбувається у тому випадку, коли в результаті реакції утворюються оксиди з більш високою термодинамічною стійкістю. На алюмінотермічне відновлення оксидів найсуттєвіше впливають властивості матеріалів, що містяться у шихті, їхній агрегатний стан, співвідношення компонентів, схеми підпалювання та ін. Механізм алюмінотермічної взаємодії головним чином описаний у роботах [3,4].

При взаємодії алюмінію з оксидами металів виділяється багато тепла, внаслідок цього температура суміші-реагента сягає 3000<sup>0</sup>С. При такій температурі плавиться не тільки метал, що отримується, а й оксид алюмінію, що утворюється у результаті реакції. Він спливає на поверхню розплаву у вигляді шлаку, оскільки його питома маса менша за питому масу основного металу.

Кількості й співвідношення компонентів суміші визначають стехіометричним співвідношенням. Найпоширеніший залізоалюмінієвий терміт (містить прогартовану окалину або збагачену залізну руду) використовують для зварювання рейок і при відливанні деталей. Інколи до складу терміту вводять легуючі присадки і флюси [3]. У військовій техніці терміт входить до складу запальної суміші, а у виробництві феросплавів терміт з додаванням флюсів є шихтою.

У першій половині двадцятого століття було запропоновано і впроваджено у промислову практику алюмінотермічне зварювання сталі [6,7]. Сучасні дослідження в області металотермії значно розширили діапазон синтезованих і зварюваних сплавів [8-12].

Розрізняють термітне зварювання способом проміжного лиття (з'єднання відбувається заповненням щілини між деталями розплавленим металом при виготовленні зварно-ливарних та зварно-кованих конструкцій великого перетину); термітне зварювання упритул (теплота шлаку та розплавленого металу витрачається для нагріву металу деталей, що зварюються до пластичного стану, а з'єднання здійснюється прикладенням стискаючого зусилля при зварюванні труб, дротів, рейок тощо) і комбінований спосіб термітного зварювання (застосовують для зварювання рейок).

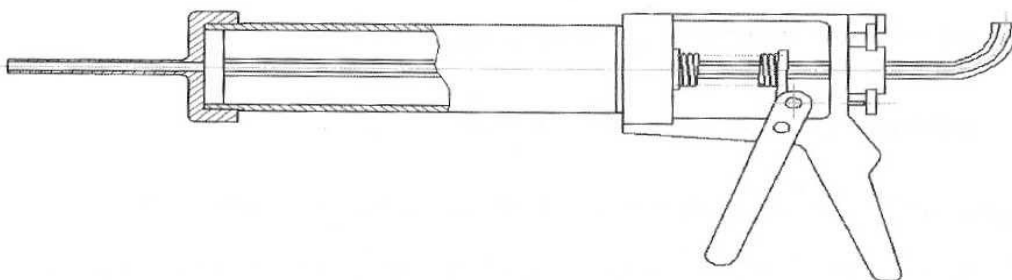
Суттєві переваги термітного способу зварювання і зараз викликають до нього заслужений інтерес завдяки високій продуктивності процесу зварювання, зручності й універсальності оснащення, відсутності потреби у джерелах електроенергії та можливості застосування при терміновому зварюванні – час зварювання усього 30-60 секунд.

**Поставлена проблема.** Існуючі технології термітного зварювання використовують насипне розміщення металотермічної суміші, яке має характерні й суттєві недоліки: необхідність ущільнення суміші; неможливість точного її розміщення на нахилених і вертикальних поверхнях; при встановленні значних об'ємів суміші виникає потреба у застосуванні спеціальних обмежувальних футерувальних пластин і екранів [5].

Аналіз способів термітного зварювання і їх недоліків виявив проблему, яка полягає у вдосконаленні організації способу термітного зварювання, який би дозволяв легко, економічно й швидко наносити металотермічну суміш на нахилені й бокові поверхні, які підлягають зварюванню, для надійного і якісного з'єднання деталей.

**Мета роботи** – встановлення можливості отримувати якісний зварюваний шов металотермічним способом із застосуванням зручного дешевого обладнання, розроблення відповідної металотермічної пасти для зварювання, а також встановлення особливостей синтезованого сплаву.

**Матеріали і методика проведення експерименту.** Для визначення маси металевого зливка на першому етапі дослідження провели мікроплавлення при масі шихти 250–300 г з різним процентним співвідношенням компонентів у суміші. Ініціювання процесу горіння проводили спеціальним термітним сірником. Використані матеріали: сажа ацетиленова (технічний вуглець ТУ 14-7-24-80), порошок алюмінієвий ПА-3–ПА-4 ГОСТ 6058-73, просіяне мливо алюмінієвої стружки, силікатний клей, розчин 2% латексу у бензині та ін. Порошкову шихту просушували, перемішували, отримували металотермічну пасту і розміщували у внутрішній камері монтажного шприца (рис.).



**Рис. 1. Шприц для видавлювання металотермічної пасти**

Розбірна конструкція шприца, наявність пружини-регулятора (для плавності спрацьовування курка) та універсальність з точки зору його наповнення металотермічною пастою (при індивідуальних роботах шприц заповнюють пастою після зняття кришки-голки, а при тривалих промислових роботах паста подається через пустотілу ручку корпусу) дозволяла зручно і в необхідній кількості видавлювати металотермічну пасту в місце зварювання, навіть, якщо поверхні для зварювання були похилі (що спричиняє значні складності при насипному варіанті розміщення металотермічної порошкової суміші). Надалі металотермічну пасту підсушували і підпалювали. Реакція за кілька секунд поширювалася на весь об'єм металотермічної пасту. Температура реакції сягала 2500°C.

Потім поверхню виробу очищали від шлаку механічно, за допомогою спеціальних щіток, і промивали.

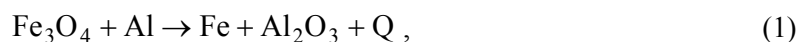
Головна умова такого металотермічного процесу – необхідно, щоб реальна температура горіння шихти була вища від температури плавлення шлаку [5,13,14].

Для використання методу екзотермічного зварювання розроблено склад спеціальної пасту [5] для нанесення її на поверхню і наступним займанням. У неї вводили, крім терміту, додатково присадки і флюси, а для отримання пастоподібної консистенції – до 3% нітроцелюлозного клею (для зв'язки суміші й присадок), який швидко сохне, або 2%-ий розчин латексу в бензині. Потім металотермічну пасту вводили у зазор між поверхнями зі сталі марки 10 і 20 та підсушували на повітрі, утворюючи шар товщиною 80, 200 або 500 мкм. Усі присадки мають високі технологічні властивості й малу вартість. Для зварювання вуглецевих сталей використовували висококремністі флюси, що містять велику кількість  $SiO_2$  і  $MnO$ .

Здешевлювали собівартість виготовлення шихти, замінивши алюмінієвий порошок на мливу алюмінієвої стружки. Корекція хімічного складу шихти дозволила зварювати заготовки у дослідно-промислових умовах.

При застосуванні термітного зварювання використовували спеціальні термостійкі екрани з магнезитової суміші, отримувани спіканням з наступним тепловим висушуванням. Їх застосовували для запобігання теплового впливу на тонкостінні деталі зварюваної конструкції та для збільшення жорсткості кріплення деталей у процесі термітного зварювання. Вологість використовуваних екранів не перевищувала 1 %.

**Експериментальна частина.** Відомий спосіб термітного зварювання сталі [6,7] заснований на класичній термітній реакції



де  $Q$  – теплотворна здатність реакції.

Проведені експериментальні роботи дали можливість розробити технологію зварювання термітних вуглецевих і високолегованих сталей, які при економії легуючих елементів дозволяють отримувати якісний зварний шов. Запропоновано також склад металотермічної суміші, у яку додатково введено пластифікуючі домішки.

Так, як і зварюванням, можна зміцнювати поверхні, змінюючи інгредієнти металотермічної суміші для отримання високотвердих сполук, наприклад, карбідів. Карбіди заліза і хрому [5], на зразок  $Me_3C$  (де  $Me$  – метал), та комплексні карбіди, синтезуються при горінні у шарі екзотермічної пасту і дозволяють замість високорідкотекучого розплавленого шару на оброблюваному сплаві (який легко зливається, особливо з нахилених поверхонь) отримувати густі шлікери, що вміщують ~50% (за об'ємом) твердої фази. У проведеному дослідженні вдалося отримати в поверхневому шарі велику кількість первинного цементиту у вигляді пластинок (до 80% за об'ємом). Для запобігання графітизації цементиту під час кристалізації, що особливо важливо при роботі матеріалу в умовах тертя та абразивного зношування, цю сполуку легували 1,5%  $Cr$  (за масою) для утворення більш тугоплавкої [5] і термодинамічно стабільної фази  $(Fe,Cr)_3C$ . При великій товщині наплавлений шар не повністю приварювався до сталевій основі. Коли ж за основу використовували чавун, товщина зміцненого шару збільшувалася до 500 мкм.

Проведені відповідні термохімічні розрахунки із урахуванням коефіцієнтів засвоєння компонентів шихти дозволили розробити такий склад екзотермічної суміші (у % за масою): залізоалюмінієвий терміт 70–76, легуючі домішки 20,5–25,0, алюмінієвий порошок 3,0–3,7, порошок вуглецю 0,5–0,7 і пластифікатор 1,5–3 (понад 100% маси шихти) [5,10,11]. Механічні властивості отриманих термітних швів зі сталей не гірші за аналоги, виготовлені промисловими способами, про що свідчать дані таблиці, наведеної нижче.

Так, адіабатична температура безкисневого горіння еквіатомної суміші  $Ti-C$  дорівнює 3200 К. Фактична температура горіння вибраної суміші  $68\%Ti+18\%C+14\%Fe$  (% у масових частках) перевищує 1850 К, що забезпечує утворення твердодіагностичного шлікера розплав-карбідів з великим інтервалом ліквідус-солідус.

Для зварювання крупних заготовок на їхніх торцях встановлювали вогнетривку форму. Між торцями залишали щілину, величина якої залежала від розмірів перерізу зварюваних виробів. Потім з металотермічного шприца крізь отвір у кришці видавлювали пастоподібну суміш у щілину або у скіс двох кромки. Після ініціювання реакції місце зварювання заповнювалось розплавленими продуктами реакції. Термітний шлак, маючи меншу питому масу, збирався у верхній частині шва, а розплавлений термітний сплав заповнював щілину. Оскільки сплав дуже перегрітий, то він оплавляв поверхні торців зварюваних виробів і після остигання утворював з ними одне ціле.

Таким чином, вдалося організувати металотермічний процес у порівняно тонкому шарі, використовуючи технології термітного зварювання і спеціальну систему приготування металотермічної пасту, одночасно для вирішення таких завдань: нагрівання, оплавлення і науглецьовування заліза; утворення карбідів; нанесення металотермічної суміші на нахилені й вертикальні поверхні, а також у щілину між зварюваними заготовками.

Таблиця 1 - Механічні властивості шва термітної сталі 110Г12Л

№ зразка	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$a_n$ , МДж/м <sup>2</sup>
1	835	20	10
2	830	18	9,5
3	835	20	9,5
4	805	21	10

Механічні властивості отриманого зварюваного шва з високолегованої сталі на 14-17% вищі, ніж властивості шва після звичайного електродугового зварювання легуваними електродами.

Для полегшення умов зварювання з використанням термітної суміші розроблено спеціальне спорядження, до складу якого входять не тільки термоекрани, а й елементи спеціального кріплення, що використовують для приварювання, наприклад, бобишок до плити і вварювання металевих деталей на зразок “втулки” або “склянки” у отвір плити. Термоекран додатково призначений для обмеження розтікання термітної суміші до моменту її нанесення у зону зварного шва та в момент його кристалізації. Для усунення налипання сплаву до термоекрана можна використати звичайний графіт, який додатково насичує поверхню екрана вуглецем і підвищує його службові властивості.

Після того, як зона шва заповнена термітною пастою, її просушують і при звичайній температурі до температури 120-150<sup>0</sup>С протягом 2 годин або просушують при кімнатній температурі 4-6 год. Процес термітного зварювання ініціюють термітним сірником – у зоні зварювання виникає температура понад 2000<sup>0</sup>С, кромки матеріалу заготовок плавляться – і виникає якісний зварювальний шов.

При термітному зварюванні враховують, що сплав має невисоку рідкотекучість, пов'язану з інтенсивним тепловідводом, а це впливає на глибину проплавлення шва [11-14], тому зварювані деталі рекомендовано попередньо підігрівати до 300-350<sup>0</sup>С.

**Висновки.** У результаті виконаних робіт отримано термітним способом якісний шов між пластинами сталі марки 10, 20 та високолегованої сталі 110Г12Л. Таким же способом можна наплавляти сталеві вироби – з утворенням наплавлених високотвердих шарів матеріалу товщиною 80, 200 або 500 мкм. Також досліджено властивості зварюваного шва з термітної сталі. Ударна в'язкість термітної високомарганцевої сталі на 14–17% вища, ніж у сталі звичайного промислового плавлення.

### **Література**

1. Популярная библиотека химических элементов. Водород-паладий / [под ред. акад. М.И. Петрянова-Соколова]. — М.: Наука, 1983. — 575 с.
2. Бекетов Н.Н. Избранные произведения по физической химии / Бекетов Н.Н.; [под ред. Н.А. Измайлова]. — Х.: Изд-во Харьк. политехн. ин-та, 1955. — 276 с.
3. Фасонное литье из термитной стали / [Золковер М.З., Гридунов А.С., Быльницкий-Бируля С.О. и др.]. — М.: Дориздат, 1950. — 48 с.
4. Аллюминотермия / [под ред. Н.П. Лякишева]. — М.: Металлургия, 1987. — 422 с.
5. Жигуц Ю.Ю. Сплави, синтезовані металотермією і СВС-процесами / Жигуц Ю.Ю. — Ужгород: Гражда, 2008. — 276 с.
6. Карасев М.А. Термитная сварка. Справочник сварщика / М.А. Карасев. — М.: Оргметалл, 1937. — 174 с.
7. Малкин Б. Термитная сварка / Б.В. Малкин, А.А. Воробьев. — М.: Мин. ком. хоз. РСФСР, 1963. — 105 с.
8. Жигуц Ю.Ю. Технологія термітного зварювання марганцевих сталей / Ю.Ю. Жигуц, Я.П. Легета, Ю.Б. Циганин // Наука и образование: материалы 4-ой межд. науч. практ. конф. — Т. 13. — Технологии. — София, „Бял ГРАД-БГ” ООД, 2008. — С. 7—9.
9. Металотермічний реактор для термітного зварювання високомарганцевих сталей: materiály IV mezinárodní vědecko-praktické konference “Klíčové aspekty vědecké činnosti”. Díl 10. Technické vědy: — Praha. Publishing House “Education and Science” s.r.o. 2008. — С. 3—5.
10. Zhiguts Yu. Special thermite cast irons / Zhiguts Yu., Kurytnik I. /Archives of foundry engineering. Polish Academy of Sciences. — Warsaw. — 2008. — N 2. — Vol. 8. — P. 162—166.
11. Патент України №2002021429. Спосіб термітного зварювання чавунів / Жигуц Ю.Ю., Скиба Ю.Ю.— 2003; бюл. №1.
12. Патент на винахід №85624 МПК: B23P 15/00. Спосіб металотермічного приварювання інструментальної пластини із швидкорізальної сталі до основи інструменту / Жигуц Ю.Ю., Скиба Ю.Ю.; опубл. 10.02.2009; бюл. №3.
13. Патент України на корисну модель № 39156 МПК: C22C1/00. Екзотермічна суміш для термітних швидкорізальних сталей / Жигуц Ю.Ю., Скиба Ю.Ю.; опубл. 10.02.2009; бюл. №3.
14. Патент України на корисну модель № 43565 МПК: C22C1/00. Екзотермічна суміш для отримання термітних швидкорізальних сталей/ Жигуц Ю.Ю., Скиба Ю.Ю.; опубл. 28.08.2009; бюл. №16.

Одержано 14.09.2009