

ОСОБЛИВОСТІ СИНТЕЗУ ТЕРМІТНОЇ СТАЛІ 35Л ТА ЇЇ ВЛАСТИВОСТІ**Жигуц Ю. Ю.**

В настоящее время улучшения свойств материалов добиваются, преимущественно, использованием традиционных технологий получения сплавов и последующей термической, химико-термической и другими способами обработки. Но их высокая энергоёмкость, потребность в соблюдении экологических норм привели к необходимости применения материалов, синтезируемых с помощью термитных процессов. Исследования стали 35Л показало, что синтезированный термитный материал имеет высокие механические свойства. Выявлены особенности химического состава термитной стали, физические свойства и температуры критических точек. Отдельным исследованием выявлено изменение механических свойств термитной стали 35Л при температуре 400 °С. Проведенная работа позволила установить состав шихты для синтеза термитной стали 35Л, разработать методику приготовления металлотермической смеси и синтеза сплава. Учитывая преимущества термитного процесса, указано перспективное направление продолжения исследования для металлотермического сваривания деталей из стали 35Л.

На сьогодні покращення властивостей матеріалів досягають, переважно, використанням традиційних технологій отримання сплавів та наступною термічною, хіміко-термічною та іншими способами обробки. Але їх висока енергоємність, потреба у дотриманні екологічних норм привели до необхідності застосування матеріалів, що синтезуються за допомогою термитних процесів. Дослідження сталі 35Л показало, що синтезований термитний матеріал має високі механічні властивості. Виявлено особливості хімічного складу термитної сталі, фізичні властивості та температури критичних точок. Окремим дослідженням виявлено зміну механічних властивостей термитної сталі 35Л при температурі до 400 °С. Проведена робота дозволила встановити склад шихти для синтезу термитної сталі 35Л, розробити методику приготування металотермічної суміші і синтезу сплаву. Враховуючи переваги термитного процесу, вказано перспективний напрямок продовження дослідження для металотермічного зварювання деталей з сталі 35Л.

Nowadays the improvement of properties of materials is arrived mainly by the development of traditional technologies of production alloys and the thermal, chemical-thermal and other processing methods of use. However, their high power consumption, the need to comply with environmental regulations led to the need of the products where synthesized by the thermite process. The research of steel 35Л showed that the synthesized thermite material has high mechanical properties. The particularity of the chemical composition of thermite steel, physical properties and temperature of the critical points are identified. A separate research revealed changes in the mechanical properties of thermite steel 35Л at a temperature to 400 °С. The conducted work allowed to determine the composition of charge for the synthesis of thermite steel of 35Л, to develop the method of preparation of metallothermic mixture and synthesis of alloy. Given the advantages of thermite process a promising direction for further research metallothermic thermite welding of steel 35Л are indicated.

Жигуц Ю. Ю.

д-р техн. наук, проф., зав. каф. УжНУ
yuzhiguts@gmail.com

УДК 620.22: 669.017

Жигуц Ю. Ю.

ОСОБЛИВОСТІ СИНТЕЗУ ТЕРМІТНОЇ СТАЛІ 35Л ТА ЇЇ ВЛАСТИВОСТІ

Термітні реакції відомі вже понад століття і використовуються для виготовлення феросплавів і розігріву екзотермічних ливарних додатків в технологіях ливарного виробництва [1–3]. Використання термітних реакцій для синтезу матеріалу, відкриває широкі можливості отримання литих чорних сплавів будь-якого хімічного складу і структури.

На сьогодні покращення властивостей матеріалів досягають, переважно, використанням традиційних технологій отримання та наступною термічною, хіміко-термічною та іншими способами обробки. Але їх висока енергоємність, необхідність поєднання декількох технологічних етапів, дотримання екологічних вимог, призводять до потреби пошуку інших шляхів надання необхідних властивостей матеріалам та синтезу нових матеріалів, інколи, з унікальними властивостями, які дають змогу уникнути наведених недоліків.

Метою роботи може бути використання, запропонованого у даній роботі, теоретично розробленого і експериментально обґрунтованого способу отримання сталей із застосуванням сильноекзотермічних реакцій.

На користь термітних сплавів свідчать і переваги термітних процесів, а саме, їх автономність, відсутність потреби у джерелах електроенергії, простота і дешевизна технологічного обладнання, висока продуктивність процесу (час проведення синтезу триває у залежності від маси і об'єму металотермітної шихти від декількох десятків секунд до декількох хвилин), малий період технологічної підготовки виробництва та простота впровадження дослідно-експериментальних розробок у промислове виробництво [2, 3]. Крім перерахованого, звертає на себе увагу і можливість використання при компонуванні шихти відходів металобробного і термічного виробництв.

Сталь типу 35Л в основному використовується для тяглових елементів, кронштейнів, вилок, картерів, циліндрів, обойм турбін, балансирів, маховиків, станин прокатних станів і металорізальних верстатів та інших деталей, що працюють при середніх і значних динамічних навантаженнях. Її широке застосування обумовлено як високими механічними властивостями, так і непоганою зварюваністю сталі. Таким чином, при виготовленні та для ремонту фасонних деталей з сталі 35Л є можливість використовувати металотермітні методи, які останнім часом знаходять все більше розповсюдження.

При компонуванні металотермітної шихти були використані такі матеріали: хром металічний ГОСТ 5905-79; ферохром ФХ65-7А ГОСТ 47570-79; силікокальцій С40Л10 ГОСТ 4762-71; алюміній для розкислення і алюмінотермії А-897 ГОСТ 295-79; силікомарганець СМн26 ГОСТ 4756-77; феросиліцій ФС65Ал3,5 ГОСТ 1415-78; порошок алюмінієвий ПА-3–ПА-6 ГОСТ 6058-73; феромарганець ФМн70 ГОСТ 4761-80; сажа ацетиленова (технічний вуглець ТУ 14-7-24-80); порошок титановий хімічний ПТХ-1, ПТХ-2 ТУ 48-10-78-83; порошок хрому ПХ-1, ПХ-2 ТУ 14-1-14-77-75; залізна окалина (ковальського і прокатного виробництв) з середнім хімічним складом (% за масою): 0,05 С; 0,10–0,35 Si; 0,10–0,35 Mn; 0,01–0,03 S; 0,01–0,03 P; 40–50 Fe₂O₃; 50–60 FeO.

Для визначення маси металевого зливка і виходу сплаву з шихти були проведені мікроплавлення у металотермічному реакторі діаметром 180 мм з різним процентним співвідношенням компонентів у суміші. Ініціювання процесу горіння проводилося спеціальним титановим запалом виготовленим з порошку титанового хімічного ПТХ-2 ТУ 48-10-78-83.

Методика проведення металотермічного синтезу достатньо проста. З вихідних порошкових матеріалів (інгредієнтів хімічної реакції) компонували металотермітну шихту. Залізна окалина проходить попереднє просушування, а при потребі і прожарювання при 650–700 К.

Компоненти шихти з герметичних контейнерів після перемішування і зважування розміщували у металотермічному реакторі [4]. Для покращення шлаковідділення у шихту при отриманні залізобуглецевих сплавів додавався польовий шпат (CaF_2). Крім цього заміниками порошкових інгредієнтів металотермічних шихт були відходи ливарного, ковальського та металорізального виробництв (залізна окалина, просіяне мливо графітових електродів, мливо алюмінієвої стружки та ін. [2, 3]). Шихта попередньо розраховувалася за стехіометричним співвідношенням компонентів реакції [5], а у наступному враховувалося засвоєння окремих компонентів реакції за допомогою відповідних коефіцієнтів.

Для компонування шихти проводили термодинамічний розрахунок, що дозволяв встановити адіабатичну температуру реакції, яка була вище температури плавлення глиноземистих шлаків (приблизно 2700 K).

Температуру горіння металотермічної шихти регулювали складом шихти, вводячи інертні домішки. При вмісті у суміші менше розрахункової кількості інертних домішок адіабатична температура горіння підвищується вище необхідної, що призводить до випалювання легуючих елементів і, відповідно, до зниження їх вмісту нижче нижньої границі регламентованої стандартом. При вмісті ж у суміші понад нормованої кількості інертних домішок адіабатична температура горіння знижується нижче допустимої, що призводить до нестабільного горіння і неможливості відокремлення шлаку від рідкого сплаву.

Після встановлення складу шихти проводили розрахунок адіабатичної температури горіння металотермічної реакції (T_a) і теплового ефекту реакції (Q_p) [5]. При проведенні розрахунків з встановлення адіабатичної температури горіння шихти за існуючими методиками не враховували сублімацію алюмінію, що дає незначну похибку встановлення T_a і Q_p . Температури реагування суміші повинні бути з врахуванням тепловідводу достатні для плавлення складових реакції і її продуктів ($T_{nl(FeO)} = 1640 \text{ K}$; $T_{nl(Fe_3O_4)} = 1810 \text{ K}$; $T_{(Al)} = 830 \text{ K}$; $T_{nl(Fe)} = 1800 \text{ K}$; $T_{(Al_2O_3)} = 2320 \text{ K}$). Основний критерій отримання зливків: T_a повинна для всіх реакцій бути вище температури плавлення продуктів реакції (T_{nl}). Розрахунок T_a зрозуміло не враховує тепловтрати у процесі горіння, а також повноту перетворення реагентів у продукти реакції.

Враховуючи умову розрахунку, що все тепло витрачається на нагрівання шихти, тобто ентальпії вихідних $H(T_o)$ і $H(T_a)$ кінцевих продуктів однакові, знаходимо:

$$\sum_{i=1}^m (H(T_a) - H(T_o)) = Q, \quad (1)$$

де T_o – початкова температура шихти;

Q – тепловий ефект реакції;

m – кількість продуктів реакції.

Зрозуміло, що, з причин відсутності повної таблиці даних залежностей теплоємностей твердих продуктів реакції і теплоти плавлення продуктів реакції при 1400–2500 K [5], проводили екстраполяцію значень у відповідності до запропонованих спрощень:

$$C_{\text{ТВ}}(T_{\text{пл}}) = 7n \cdot k \quad (\text{Дж/моль} \cdot \text{град}), \quad (2)$$

де k – перехідний коефіцієнт від кал до Дж;

$C_{\text{ТВ}}(T_{\text{пл}})$ – теплоємність продукту при температурі плавлення;

n – число атомів у молекулі утвореного продукту.

При спрощеній схемі розрахунку T_a визначали без врахування точних значень теплоємностей, а тепловий ефект встановлювали при середній температурі (наприклад, 2500 K). Зміною ж теплового ефекту, коли продукти реакції знаходяться у рідкому стані, можна знехтувати.

Після процесу синтезу відділяли сплав від шлаку, оцінюючи структуру шлаку, і проводили контрольне зважування та встановлення величини виходу сталі з шихти, досліджували синтезований зливочок.

Зазначимо, що у змодельованій задачі термодинамічна модель втрати тепла враховує макрокінетичною теорією горіння при якій:

$$T_a = T_{nl} + \frac{Q - L - \Delta H(T_{nl})}{C_{рідк}}, \quad (3)$$

де L – відповідно теплоємність твердих продуктів реакції і теплота продукту;

$\Delta H(T_{nl})$ – різниця ентальпій вихідних і кінцевих продуктів;

$C_{рідк}$ – теплоємність рідкого продукту.

Помилку, пов'язану з екстраполяцією, оцінюють в декілька сотень градусів.

В результаті проведення експериментальних термітних плавлень були отримані фасонні зливки, які піддали подальшому дослідженню. Встановлювали хімічний склад, механічні та технологічні властивості синтезованих сплавів.

Виявлено, що величина вільної усадки для термітної вуглецевої сталі 35 знаходилася у межах 1,8–2,3 % у залежності від конфігурації і маси виливків.

Результати порівняльного аналізу хімічного складу термітної і промислової сталі (табл. 1) показали незначне зменшення вмісту важковідновних елементів (Mn і Ni) у термітній сталі, що викликано послідовною поетапною взаємодією різних типів оксидів шихти з алюмінієм.

Таблиця 1

Хімічний склад термітної сталі 35Л для виливків

Марка сталі	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni
Промислова сталь 35Л	0,32–0,40	0,50–0,90	0,20–0,42	0,045	0,04	≤ 0,30	≤ 0,30
Термітна сталь 35Л	0,38	0,50	0,23	0,040	0,035	0,15	0,15

Механічні властивості термітної сталі 35Л (табл. 2) у середньому на 9–12 % кращі ніж промислові аналоги, що, очевидно, пов'язано з дорозкисленням сплаву алюмінієм з металотермічної шихти.

Таблиця 2

Механічні властивості термітної сталі 35Л

Товщина стінки виливка, мм	δ_m	δ_e	δ	ψ	a_n , МДж	НВ
	МПа		%			
До 100	28	50	15	25	3,5	137–166
Більше 100	40	60	10	20	4,0	179–269

Продовження дослідження властивостей термітної сталі 35Л дозволило встановити її коефіцієнт лінійного розширення, визначити температури критичних точок термітної сталі 35Л (табл. 3) та механічні властивості при температурах до 700 К (табл. 4).

Таблиця 3

Фізичні властивості і температури критичних точок термітної сталі 35Л

Коефіцієнт лінійного розширення $\times 10^6$ мм/мм·град. при температурі К						Температури критичних точок, К	
293–373	293–473	293–573	293–673	293–673	293–873	А _{С1}	А _{С3}
11,1	11,9	12,6	13,4	14,4	15,6	1003	1075

Таблиця 4

Механічні властивості термітної сталі 35Л при підвищених температурах

Температура випробування, К	δ_m	δ_e	δ	ψ
	МПа		%	
293	35,5	52,6	32,7	52,3
373	84,6	92,5	100,2	100,3
473	77,6	91,9	92,9	100,2
573	71,2	98,2	100,3	79,6
573	62,5	82,3	100,3	100,8

Слід відмітити, що як коефіцієнт лінійного розширення, так і температури критичних точок термітної сталі несуттєво відрізняються від цих же показників промислової сталі. В той же час механічні властивості термітної сталі 35Л при підвищених температурах на 8–14 % вище. Причиною цього, швидше за все, є два основних фактори: металотермічний спосіб отримання сталі, пов'язаний з високотемпературним синтезом сплаву, і мікролегування алюмінієм з шихти. Ці дослідження пов'язані з потребою виявлення зміни властивостей при термічній обробці, при проведенні зварювання та встановлення властивостей матеріалу зони термічного впливу, а також для виявлення можливостей розширення галузей застосування вказаної сталі.

Дослідження зварюваності вказаних марок термітних сталей дозволить значно розширити діапазон деталей виготовлених з термітного сплаву.

ВИСНОВКИ

Встановлено склад шихти для синтезу термітної сталі 35Л та розроблено методику компонування металотермічної суміші. Встановлено температури критичних точок та фізичні властивості термітної сталі 35Л при температурах до 700 К. Досліджено хімічний склад, механічні та технологічні властивості термітної сталі 35Л. Показано, що механічні властивості вказаної марки термітної сталі кращі, ніж у промислового аналога. Виявлено залежність механічних властивостей термітної сталі 35Л від температури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фасонное литье из термитной стали / Золковер М. З. [и др.] – М. : Дориздат, 1950. – 48 с.
2. Жигуц Ю. Ю. Использование термитных высоколегированных сталей для питания оливок / Ю. Ю. Жигуц // Литейное производство. – 2007. – № 5. – С. 5–7.
3. Жигуц Ю. Ю. Технология отримання термітних суднобудівних сталей / Ю. Ю. Жигуц // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук. праць. – 2012. – № 3 (28). – С. 283–286.
4. Пат. 20045 України МПК: В 22 С 9/00. Металотермічний реактор / Жигуц Ю. Ю., Скиба Ю. Ю., Крайній І. І. – № 200606530 ; заявл. 13.06.2006 ; опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1.
5. Жигуц Ю. Методика розрахунку складу екзотермічних шихт на основі термохімічного аналізу / Ю. Жигуц, В. Широков // Машинознавство. – 2005. – № 4. – С. 48–50.