

7. Чайковська, Є.Є. Функціонування енергетичних систем на рівні прийняття рішень [Текст] / Є.Є. Чайковська // Восточно-Европейський журнал передових технологій. – 2012. – №5/8(59). – С.4–6.
8. Чайковська, Є.Є. Енергозберігаючі технології на рівні прийняття рішень [Текст] / Є.Є. Чайковська // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Серія ” Нові рішення в сучасних технологіях ”. – Харків, 2012. – №33. – С.103–108.
9. Чайковська, Є.Є. Підтримка функціонування біопаливних установок [Текст] / Є.Є. Чайковська, К.О. Кустов // Восточно-Европейський журнал передових технологій. – 2012. – №2/10(56). – С.41–44.
10. Чайковська, Є.Є. Інтелектуальна система управління теплонасосним енергопостачанням [Текст] / В.В. Стефанюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – №5. – С. 76–83.

В результаті проведених теоретичних та експериментальних робіт встановлені склад шихти і хімічний склад синтезованих термітних графітованих сталей. Виявлено вплив металотермічного методу на хімічний склад термітних сталей, мікроструктуру і їх фазовий склад. При компонованні шихти для синтезу вказаних марок графітованих сталей запропоновано використовувати вторинні відходи металорізального та термічного виробництва

Ключові слова: металотермія, терміт, синтез, властивості, критичні точки, мікроструктура, графітовані сталі

В результате проведенных теоретических и экспериментальных работ установлены состав шихты и химический состав синтезированных термитных графитизированных сталей. Выведено влияние металлотермического метода на химический состав термитных сталей, микроструктуру и их фазовый состав. При компоновке шихты для синтеза указанных марок графитизированных сталей предложено использовать вторичные отходы металлорежущего и термического производств

Ключевые слова: металлотермия, термит, синтез, свойства, критические точки, микроструктура, графитизированные стали

УДК 620.22; 669.017

ТЕХНОЛОГІЯ СИНТЕЗУ ТЕРМІТНИХ ГРАФІТОВАНИХ СТАЛЕЙ

Ю. Ю. Жигуц

Доктор технічних наук, професор
Кафедра технології машинобудування
Ужгородський національний університет
вул. Підгірна, 46, м. Ужгород, Україна, 88000
E-mail: yuzhiguts@gmail.com

В. Ф. Лазар

Кандидат технічних наук, доцент кафедри
Кафедра інформаційних технологій
Мукачівський державний університет
вул. Ужгородська, 26,
м. Мукачево, Україна, 88000
E-mail: yuzhiguts@gmail.com

1. Вступ

В практиці виготовлення заготовок і деталей машин останнім часом все частіше використовують металотермічні методи. Це зумовлено, в першу чергу, широкими можливостями їх застосування і перевагами при використанні у спеціальних умовах. До таких можливостей відносять як технології металотермічного виплавлення розплаву та подальшого його застосування для отримання виливків, термітного зварювання, наплавлення поверхонь, так і використання розплаву у технологіях термітних ливарних додатків високого температурного градієнту для обігріву ливарних додатків екзотермічними сумішами [1 – 8].

Переваги металотермічних технологій відомі з початку ХХ сторіччя, коли перші дослідники почали отримувати залізо в результаті алюмінотермічної взаємодії залізної окалини з порошковим алюмінієм. До цих переваг відносять синтез матеріалів без використання крупних промислових джерел електроенергії, без складного ливарного обладнання, можливість

швидкого переходу від дослідних робіт до промислових технологій, не в останню чергу звертає увагу на себе і використання для металотермічного синтезу матеріалів вторинних ресурсів (залізної окалини, млива алюмінієвої стружки, відсіву та пилу з фільтрів ливарних і термітних цехів, млива недопалених частин графітових електродів з дугових сталеплавильних печей та ін.) [1, 2]. Одночасно відомо, що для виготовлення штампів, ножів, сепараторів підшипників, колінчастих валів, зубчастих коліс, гальмівних колодок та інших деталей як правило використовують графітовані промислові сталі.

2. Мета роботи

Встановити можливість отримання графітованих термітних сталей, дослідити їх мікроструктуру, фізико-механічні, технологічні і службові властивості та виявити можливість заміни промислових графітованих сталей термітними сталями.

3. Постановка проблеми і задач дослідження

Застосування металотермічних методів для синтезу графітованих сталей ставить науково-технічну задачу пов'язану із розробленням технології синтезу, дослідженням впливу металотермічної технології на синтезовану сталь та виявлення властивостей і особливостей термітної графітованої сталі.

4. Вихідні матеріали, методика приготування металотермічної шихти

Матеріали використані для компонування металотермічної суміші: ферохром ФХ65-7А ГОСТ 4757079; силікомарганець СМн26 ГОСТ 4756-77; феросиліцій ФС65Ал3,5 ГОСТ 1415-78; порошок алюмінієвий марок ПА-3 – ПА-4 ГОСТ 6058-73 та просіяне мливо алюмінієвої стружки; феромарганець ФМн70 ГОСТ 4761-80 та ін. лігатура; 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 та ін.

Для визначення маси металевого зливка і виходу металу з шихти були проведені мікроплавлення при масі шихти 350 г у металотермічному реакторі діаметром 100 мм з різним процентним співвідношенням компонентів у суміші. Ініціювання процесу горіння проводилося титановим запалом.

Шихта попередньо розраховувалася за стехіометричним співвідношенням компонентів реакції, а у наступному враховували засвоєння окремих компонентів реакції за допомогою коефіцієнтів [9]. Наступний етап полягав у корекції складу шихти за рахунок внесення відповідних феродомішків (феромарганцю, ферохрому та ін.), які дозволяють синтезувати необхідний хімічний склад сплаву. Для регулювання температури горіння у склад шихти вводили також інертні домішки.

Порошкову шихту попередньо просувували при температурі 150-180°C, перемішували і ущільнювали, а після цього розміщували у верхню камеру металотермічного двокамерного реактора [10].

Після плавлення відділяли сплав від шлаку та встановлювали величину виходу сплаву з шихти, досліджували синтезований зливок.

5. Методика термохімічних розрахунків та теоретичні дослідження

Після встановлення складу шихти за стехіометричними коефіцієнтами хімічної реакції та корекції її коефіцієнтами засвоєння компонентів шихти, проводили розрахунок адіабатичної температури горіння [9]. При проведенні розрахунків за існуючими методиками не враховували сублімацію алюмінію, що дає несуттєву похибку встановлення адіабатичної температури (T_a) та теплоти утворення продуктів реакції (Q). Враховували, що T_a повинна для всіх реакцій бути вище температури плавлення ($T_{пл}$) продуктів реакції. Розрахунок T_a не враховує тепловтрати у процесі горіння, а також повноту перетворен-

ня реагентів у продукти реакції. У спрощеній схемі розрахунку T_a визначали без врахування точних значень теплоємностей, а тепловий ефект встановлювали при середній температурі (2500 К).

При відповідних значеннях ентальпій продукту горіння T_a розраховували за формулою:

$$T_a = T_{пл} + \frac{Q - L - \Delta H(T_{пл})}{C_{рідк}}$$

де С та L – відповідно теплоємність і теплота продукту горіння.

Помилка, пов'язана з екстраполяцією, оцінюється у сто градусів.

6. Результати експериментальних досліджень

План експериментальних досліджень передбачав встановлення фізичних властивостей, синтезованих за допомогою розроблених складів металотермічних шихт матеріалів, а у подальшому дослідження механічних властивостей фасонних виливків з графітованих сталей та встановлення їх технологічних властивостей і мікроструктури.

Графітована сталь – це вуглецева або малолегована сталь з вмістом вуглецю понад 1%, в якій частина вуглецю виділилася у вигляді графіту. Графіт у сталі впливає на механічні властивості, насамперед зменшуючи пластичність і в'язкість сталі, але при цьому покращуються антифрикційні, зносостійкі та інші властивості. Як і для промислових сталей, головним легуючим елементом для термітних графітованих сталей служить кремній. Крім цього в термітну сталь вводять алюміній, мідь і нікель. Такі легуючі елементи як вольфрам і молібден роздрібнюють структуру сталі і зменшують анізотропію властивостей. Легування хромом призводить до збільшення зносостійкості та прогартованості термітних сталей.

Досліджували термітні аналоги промислових марок сталей ЭИ293, ЭИ336, ЭИ366 для яких встановлено критичні точки $A_{c1}=740...810^\circ\text{C}$ та $A_{c1}=670...720^\circ\text{C}$. Після металотермічного плавлення термітні сталі піддавали термічній обробці у два етапи: на першому етапі при температурі 850–900°C на протязі 2-4 годин виникав розпад вторинного цементиту, на другому етапі при температурі 780–800°C при повільному охолодженні утворювалася структура ферит+графіт.

Якщо обмежитись тільки одним етапом термообробки, то при повільному охолодженні отримується структура графітованої термітної сталі, що складається з перліту (або сорбіту) і графіту.

Повільне охолодження у фетерованому магнетитом та попередньо нагрітому металотермічному реакторі [10] забезпечує майже повне розчинення вторинного цементиту, який розташовується у структурі термітної сталі у вигляді сітки або окремих голок. Сама ж структура термітних графітованих сталей складається з перліту, фериту, точкового графіту та незначної кількості відокремлених частинок вторинного цементиту. Співвідношення за об'ємом між перлітом і феритом у залежності від марки сталі складає від 40 до 60% для ЭИ293 та 55 до 45% для ЭИ336. Для марки

ЭИ293 вихідна структура перліт+графіт, для ЭИ336 – ферит+графіт, а для ЭИ366 – перліт+графіт.

Склад металотермічної шихти для синтезу термітної графітованої сталі та хімічний склад синтезованої сталі показано в табл. 1 та 2.

Таблиця 1

Склад металотермічної шихти для синтезу термітної графітованої сталі

Термітна сталь, аналог промислової	C	Si	Cu	Ti	Mn	Ni	Cr
ЭИ293	2,5-2,7	0,9-1,0	–	–	0,4-0,5	0,3	0,15
ЭИ336	2,5-2,7	0,9-1,0	0,5-0,6	–	0,4-0,5	0,3	0,15
ЭИ366	2,3-2,4	0,9-1,0	–	0,3-0,4	0,4-0,5	0,3	0,15

Таблиця 2

Хімічний склад термітної графітованої сталі

Термітна сталь, аналог промислової	C	Si	Cu	Ti	Mn	Ni	Cr	S	P
ЭИ293	1,5-1,6	0,8-0,9	–	–	0,3-0,4	0,2	0,1	0,030	0,030
ЭИ336	1,5-1,6	0,8-0,9	0,4-0,5	–	0,3-0,4	0,2	0,1	0,030	0,030
ЭИ366	1,35-1,40	0,8-0,9	–	0,2-0,3	0,3-0,4	0,2	0,1	0,030	0,030

Дослідження фізичних властивостей термітних сталей виявило, що питома маса графітованої термітної сталі до графітизації знаходилася у межах $(7,6-7,7) \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, а після $(7,40-7,5) \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, електричний опір 0,27-0,28 мкОм·м, а магнітна індукція 14500-15300 Гс.

Механічні властивості термітної графітованої сталі показані у табл. 3, 4. Одночасно в табл. 3 приведено для порівняння механічні властивості промислової сталі 50. Встановлено, що границя витривалості графітованої термітної сталі більша ніж ковкого чавуну. Залежність границі витривалості термітної графітованої сталі від кількості циклів навантаження показана на рис. 1. Графітована термітна сталь має підвищену зносостійкість, яка знаходиться на одному рівні з зносостійкістю сталей Гатфільда (110Г12Л та 110Г13Л) та малі значення коефіцієнта тертя. Так, коефіцієнт тертя при роботі графітованих сталей зі сталлю та оливою при питомому тиску 300 МПа для термітного аналога ЭИ293 складає 0,03-0,049 і його значен-

ня всього 0,148 при роботі з латунню Л80 та 0,021 – при роботі з бронзою ОЦС 5-5-5.

Встановлення технологічних властивостей для термітних графітованих сталей показало, що рідкотекучість для кокільної U-подібної проби Самаріна-Нехендзі складає 130-170 мм, лінійна усадка 2-2,2%, при цьому спостерігається мала схильність сталі до утворення гарячих і холодних тріщин.

Термітна графітована сталь порівняно непогано обробляється різанням (точінням), особливо при швидкостях різання 150-200 м/хв.

В результаті дослідження графітованих термітних сталей можна зробити загальний висновок, що вони успішно можуть замінити промислові марки графітованих сталей.

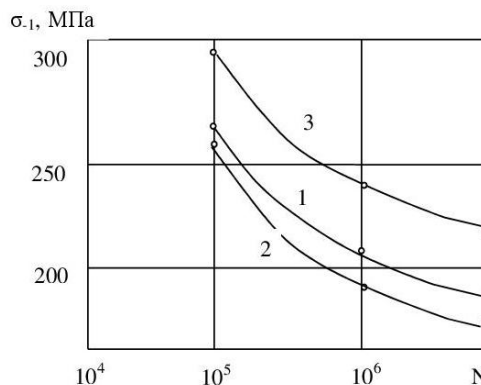


Рис. 1. Залежність границі витривалості термітної графітованої сталі при симетричному циклі навантажень (σ_1) від кількості циклів навантаження (N): 1 – ЭИ293; 2 – ЭИ336; 3 – ЭИ366

Таблиця 3

Механічні властивості термітної графітованої сталі ЭИ293

Марка матеріалу	Форма графіту	Границя міцності на розтяг (σ_b), МПа	Границя текучості (σ_T), МПа	$\frac{\sigma_T}{\sigma_b}$, %	Відносна пластичність, (δ), МПа	Твердість (НВ)	Модуль Юнга (E), кг/мм ²
Термітна графітована сталь	Точкова	850-880	690-700	79,5-81	8-9	250-265	19800
Промислова графітована сталь	Точкова	850	670	79	6	255	19700
Сталь 50	–	520-640	340	58	18-22	140-170	21000

Таблиця 4

Механічні властивості фасонного литва з термітної графітованої сталі

Вид фасонного литва	σ_b , МПа	σ_T , МПа	δ , %	Відносне звуження, (ψ), %	НВ	Ударна в'язкість ¹ (a_n), МПа	Границя витривалості при симетричному циклі навантажень (σ_1), МПа
Виливок ступінчастого валу	870-1300	600-700	8-15	12-28,0	230-270	9-14	34,7 ¹ 24,2 ²
Литво загального призначення	640-730	460-500	18-23	–	190-230	5-8	–

¹Зразки без надрізу.

²Зразок з V-подібним надрізом.

7. Висновки

1. Розроблено склади металотермічних шихт для синтезу термітних графітованих сталей марок ЭИ293, ЭИ336 і ЭИ366.
 2. Встановлено особливості хімічного складу синтезованих графітованих термітних сталей.
 3. Виявлено феритоперлітну структуру з точковим графітом і незначною кількістю вторинного цементиту в синтезованих графітованих термітних сталях.
 4. Досліджено фізичні (питома маса, електричний опір, модуль Юнга, магнітна індукція), механічні (σ_B , σ_T , δ , НВ, a_n , σ_{-1}), технологічні (оброблюваність різанням, рідкотекучість, лінійну усадку та ін.) та службові (границю витривалості, коефіцієнт тертя та ін.) властивості термітних сталей марок ЭИ293, ЭИ336 і ЭИ366.
-

Література

1. Жигуц, Ю. Ю. Сплави, синтезовані металотермією і СВС-процесами [Текст] / Ю. Ю. Жигуц. — Ужгород : Гражда, 2008. — 276 с.
2. Жигуц, Ю. Ресурсозберігаюча технологія термітного зварювання сталевих деталей [Текст] / Ю. Жигуц, В. Лазар // Вісник ТДТУ. — 2009. — Т. 14, № 4. — С. 94–98.
3. Жигуц, Ю. Ю. Технологія виробництва термітного високопрочного чугуна [Текст] / Ю. Ю. Жигуц, В. Ф. Лазар, Л. І. Косюк // Міжн. збірн. наук. праць. «Прогресивні технології і системи машинобудування. «Донецький нац. техн. ун-тет». — 2012. — № 1,2 (43). — С. 142–147.
4. Чернега, Д. Ф. Использование термитных высоколегированных сталей для питания отливок [Текст] / Д. Ф. Чернега, Й. Й. Лучко, Ю. Ю. Жигуц // «Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій». Збірник наук. праць. — 2012. — № 9. — С. 279–285.
5. Жигуц, Ю. Ю. Синтез термітної хромонікелевої сталі Х18Н9Т [Текст] : Materiały IX międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji „Kluczowe aspekty naukowej działalności”. V. 16. Techniczne nauki. — Przemysł: Nauka i studia, 2013. — С. 3–5.
6. Жигуц, Ю. Ю. Синтез термітних кавітаційностійких сталей [Текст] / Ю. Ю. Жигуц // Восточно-европейский журнал передовых технологий. Прикладная физика и материаловедение. — 2013. — №1/5 (61). — С. 4–6.
7. Жигуц, Ю. Ю. Синтез термітної сталі 35Л [Текст] / Ю. Ю. Жигуц // «Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій». Збірник наук. праць. — 2012. — № 9. — С. 215–221.
8. Жигуц, Ю. Ю. Технологія отримання термітних суднобудівних сталей [Текст] / Ю. Ю. Жигуц // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. Збірник наукових праць. — 2012. — № 3 (28). — С. 283–286.
9. Жигуц, Ю. Ю. Методика розрахунку складу екзотермічних шихт на основі термохімічного аналізу [Текст] / Ю. Жигуц, В. Широков // Машинознавство. — 2005. — № 4. — С. 48–50.
10. Металотермічний реактор [Текст] : пат. 20045 Україна: МПК В22С9/00 / Жигуц Ю.Ю., Скиба Ю.Ю., Крайняк І.І.; заявник і патентовласник Ужгородський національний університет. — № u200606530. заяв. 13.06.06; опубл. 15.01.07, Бюл. №1. — 6 с.