

УДК 620.22; 669.017

Ю.Ю. Жигуц

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

ТЕХНОЛОГІЯ ТЕРМІТНОГО СИНТЕЗУ ЧАВУНІВ ДЛЯ ГАЛЬМІВНИХ МЕХАНІЗМІВ

Застосування металотермічних методів синтезу матеріалів для термінового отримання виливків з термітних чавунів і швидкої заміни бракованих деталей дозволить вирішити проблему ремонту деталей гальмівних механізмів і відновлення поверхонь пар тертя. Проведене дослідження встановило вплив металотермічного методу синтезу на склад, структуру та властивості термітних виливків та виявило хімічний склад, який забезпечить оптимальну структуру чавуну при збереженні його високих властивостей. В результаті теоретичних та експериментальних робіт розроблено технологію синтезу термітного чавуна для роботи в умовах сухого тертя і отримано сірі термітні чавуни для гальмівних механізмів марок СЧ15, СЧ18, встановлено їх властивості, з'ясовано структуру термітного чавуна для пар тертя.

Ключові слова: металотермія, чавун, пара тертя, синтез, властивості матеріалів.

Вступ. Загально вживана практика сучасного виробництва – використання дешевих матеріалів, наприклад, чавунів для гальмівних і фрикційних пристроїв, гальмівних колодок, гальмівних барабанів, дисків зчеплення та інших деталей, що входять у склад машинобудівної продукції пар зчеплення [1]. Відомо, що перлітні чавуни дешевші за кольорові та інші види матеріалів для пар тертя в 3,3...18 разів.

Аналіз останніх досліджень. Для гальмівних пар тертя існують головні і додаткові вимоги для їх експлуатації. До головних вимог відносять фрикційну теплостійкість, тобто здатність пари тертя зберігати по можливості сталі значення коефіцієнта тертя і малу зношуваність у широкому діапазоні температур [2].

Крім головних вимог до чавуну, що працює в умовах сухого тертя, висувають і додаткові вимоги:

1. Достатня величина і стабільність коефіцієнта тертя, який повинен знаходитись у межах 0,2...0,5, а його зміна у процесі гальмування повинна коливатись не більше ніж на 20%.

2. Елементи фрикційної пари повинні припрацьовуватися швидко, а саме так, щоб при першому гальмуванні тормозний момент мав відхилення не більше $\pm 20\%$ від розрахункової величини.

3. Пара тертя не повинна «зварюватись» у процесі гальмування або, інакше кажучи, адгезійно зчіплюватись.

4. Міцність на розтяг при граничній температурі, що розвивається у гальмах, повинна складати не менше 15 МПа.

Найчастіше для фрикційних пар використовують гетинакс, феррадо, асбокаучук, металокераміку та ін., які працюють у парі з контртілом з сірого чавуну [2].

Постановка проблеми і задач дослідження. Серед найбільш серйозних проблем, що становлять основну причину виходу з ладу гальмівних барабанів, дисків зчеплення вважаються тріщини на робочій поверхні. Як правило вони утворюються за рахунок короткочасних місцевих перегрівів у момент гальмування і локальних теплових деформацій чавунів [2], тому виникає потреба у ремонті або заміні деталей гальмівних пар через певний період експлуатації. При необхідності екстреного ремонту механізму виникає потреба у застосуванні металотермічних методів синтезу чавунів [3]. Методи металотермії дозволяють при відсутності сировинної бази, промислових джерел електроенергії, синтезувати залізовуглецеві матеріали без складного обладнання (достатньо у найпростішому варіанті ливарний ківш), з високою продуктивністю за надзвичайно короткий проміжок часу (час горіння суміші від декількох десятків секунд до декількох хвилин). Ці методи придатні і для зварювання і наплавлення термітних залізовуглецевих сплавів [4,5].

Застосування металотермічних способів синтезу матеріалів для термінового отримання виливків з термітних чавунів і швидкої заміни відпрацьованих деталей дозволить частково вирішити вказану вище проблему. Саме з цієї метою потрібно дослідити вплив металотермічного способу синтезу на хімічний склад, структуру та властивості термітних чавунів та вибрати

хімічний склад, що забезпечить оптимальну структуру чавуну при отриманні найкращих властивостей.

Вихідні матеріали та методика синтезу. Матеріали потрібні для компонування металотермічної суміші: хром металічний ГОСТ5905-79; ферохром ФХ65-7А ГОСТ 4757079; силікомарганець СМн26 ГОСТ 4756-77; феросиліцій ФС65Ал3,5 ГОСТ 1415-78; порошок алюмінієвий ПА-3–ПА-6 ГОСТ 6058-73 та просіяне мливо алюмінієвої стружки; феромарганець ФМн70 ГОСТ 4761-80; феротитан ФТи30А ГОСТ 4761-80; 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 виробництва) 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 з масою шихти 350 г у металотермічному реакторі діаметром 80 мм з різним процентним співвідношенням компонентів у суміші [6]. Розроблена спеціальна конструкція металотермічного реактора з економною системою використання легуючих елементів, яка придатна як для процесу синтезу сплаву, так і для зварювання термітного матеріалу (рис.). Ініціювання процесу горіння проводилося спеціальним титановим запалом виготовленим з порошку титанового хімічного ПТХ-2 ТУ 48-10-78-83.

Шихта попередньо розраховувалася за стехіометричним співвідношенням компонентів реакції [7], а у наступному враховували засвоєння окремих компонентів реакції за допомогою коефіцієнтів [3]. Після плавлення відділяли метал від шлаку, оцінюючи структуру шлаку, і проводили контрольне зважування та встановлення величини виходу металу з шихти, досліджували синтезований зливочок. Третій етап [7] полягав у корекції складу шихти за рахунок внесення відповідних феродомішків (феромарганцю, ферохрому та ін.), які дозволяють отримати необхідний хімічний склад сплаву. Для регулювання температури горіння у склад шихти вводили також інертні домішки.

Методика термохімічних розрахунків. Після встановлення складу шихти за стехіометричними коефіцієнтами хімічної реакції та корекції його коефіцієнтами засвоєння компонентів шихти проводився розрахунок адіабатичної температури горіння металотермічної реакції [7]. При проведенні розрахунків з встановлення адіабатичної температури горіння шихти за існуючими методиками не враховувалася сублімація алюмінію, що дає похибку встановлення T_a та Q_p . Однак, не зважаючи на це, температури реагування суміші повинні бути з врахуванням тепловідводу достатні для плавлення складових реакції і її продуктів ($T_{nl(FeO)} = 1640K$; $T_{nl(Fe_3O_4)} = 1810K$; $T_{nl(Fe)} = 1800K$; $T_{(Al)} = 830K$; $T_{(Al_2O_3)} = 2320K$).

Основний критерій отримання злиwkів – T_a повинна для реакції бути вище T_{nl} продуктів реакції. Розрахунок T_a зрозуміло не враховує тепловтрати у процесі горіння, а також повноту перетворення реагентів у продукти реакції.

Умова адіабатичного розрахунку – все тепло витрачається на нагрівання шихти, тобто ентальпії вихідних і кінцевих продуктів однакові. Зрозуміло, що, з причин відсутності повної таблиці даних залежностей C від T при високих температурах [8], проводилася екстраполяція значень у відповідності із розрахунком [7]:

$$C_{\text{тв(Тпл)}} = 7n \cdot k, \quad (\text{Дж/моль} \cdot \text{град}), \quad (1)$$

де k – перехідний коефіцієнт від кал до Дж; $C_{\text{те(Тпл)}}$ – 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 К). Зміною ж теплового ефекту, коли продукти реакції знаходяться у рідкому стані, можна знехтувати.

Для лінійної залежності теплоємності від температури для $T_{\text{рідк}} < T < T_{\text{пл}}$:

$$C(T) = C^* + \frac{C_{nl} - C^*}{T_{nl} - T^*} (T - T^*), \quad (2)$$

де C^* – експериментальне значення теплоємності при $T=T^*$; T^* – найбільша температура у

експерименті при визначенні $C(T)$.

При встановлених значеннях ентальпій продукту горіння T_a розраховували за формулою (3):

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

Помилку, пов'язану із екстраполяцією, оцінюють у сто градусів.

Результати експериментальних досліджень. В результаті теоретичних розрахунків і проведення процесу горіння металотермічної суміші отримано 14 виливків гальмівних колодок з сірих термітних чавунів – аналогів марок СЧ18, СЧ15, перлітного, голчастого та гальмівного чавуну, хімічний склад яких вказано у табл. 1.

З літературних джерел [2,9,10] та стандартів на чавуни відомо, що збільшення кількості вуглецю при збереженні вмісту Si не менше 1,2% забезпечує отримання перлітної структури.

Проведені мікроструктурні дослідження термітних чавунів показали, що при дотриманні умов охолодження у футерованому магnezитом тиглі вдається стабільно отримувати перлітну, а на периферії зливка троститну структуру.

При проведенні експериментальних робіт з оптимізації структури та властивостей чавунів для роботи в умовах сухого гальмування виявлено, що вміст вуглецю слід утримувати вище існуючих стандартів і доводити його до рівня 3,8%, одночасно для підвищення міцності у чавун необхідно вводити 0,7% Мо.

Експериментальні дані свідчать, що при перлітній або бейнітній структурі термітних чавунів суттєво збільшується міцність і в 2 рази збільшується кількість гальмувань до появи перших тріщин.

Таблиця 1

Хімічний склад синтезованих термітних чавунів¹, що використовуються в умовах сухого зношування

№ з/п	Марка чавуну	C	Si	Mn	S менше	P менше
1	СЧ18	3,2–3,4	1,7–2,0	0,5–0,8	0,10	0,15–0,20
		3,2–3,4	1,9–2,1	0,5–0,8	0,12	0,15–0,80
2	СЧ15	3,2–3,5	2,1–2,3	0,5–0,7	0,10	0,15–0,20
		3,2–3,4	2,3–2,6	0,5–0,8	0,12	0,15–0,20
3	Перлітний	2,3–2,8	–	1,5–1,7	0,10	0,5–0,6
		2,5–3,0	–	1,5–1,8	0,12	0,6–0,8
4	Голчастий	2,3–2,8	–	1,5–1,7	0,10	0,2–0,3
		2,5–3,0	–	1,5–1,8	0,12	0,2–0,3
5	Гальмівний	3,2–3,8	1,7–2,0	0,5	0,10	0,15
		3,2–3,5	1,7–2,1	0,5–0,7	0,12	0,15
№ з/п	Марка чавуну	Cr	Ni	Ti або W	Cu	Mo
1	СЧ18	0,23–0,33	0,23–0,33	–	–	–
		0,25–0,35	0,25–0,35	–	–	–
2	СЧ15	0,15–0,25	0,2–0,3	–	–	–
		0,5–0,2	0,2–0,3	–	–	–
3	Перлітний	0,2–0,3	–	0,2–0,5	1,0–1,2	–
		0,1–0,3	–	0,1–0,8	1,0–1,5	–
4	Голчастий	0,2–0,3	1,5–2,0	1,5 W	1,0–1,2	0,5–0,7
		0,2–0,3	1,5–2,5	1,5	1,0–1,5	0,5–0,8
5	Гальмівний	0,3	–	–	–	0,3–0,5
		0,3–0,5	–	–	–	0,3–0,7

¹У чисельнику вказано хімічний склад термітного чавуну, у знаменнику хімічний склад промислового аналога

Висновки та практичні рекомендації. 1. Встановлено склад шихти та хімічний склад термітних чавунів для роботи в умовах сухого тертя. 2. Розроблено технологію синтезу термітних чавунів та отримано термітні чавуни марок СЧ15, СЧ18 та гальмівного, встановлено їх властивості. 3. Встановлено, що найоптимальнішою для регламентованих умов роботи термітних чавунів є перлітна або троститна структура. 4. Для отримання потрібної структури і необхідних механічних та службових властивостей потрібно збільшити у складі термітного чавуну вміст вуглецю до 3,6...3,8%, та додатково вводити 0,7% молібдену. 5. Використання перлітних чавунів для пар тертя дозволяє замінити кольорові та інші види матеріалів, які дорожчі за термітний сплав в 3,3...18 разів.

1. Фролов К. В. Современная трибология: Итоги и перспективы / Фролов К. В. – М.: Издательство ЛКИ. – 2008. – 480 с.
2. Крагельский Н. В. Применение износостойких материалов для быстроизнашивающихся деталей / Крагельский Н.В. Трение и износ. – М.: Машгиз. – 1961. – 322 с.
3. Жигуц Ю.Ю. Сплавы, синтезовани металотермією і СВС-процесами [монографія] / Жигуц Ю.Ю. – Ужгород: Гражда. – 2008. – 276 с.
4. Пат. 20045 Україна, МПК В22С9/00. Металотермічний реактор / Жигуц Ю. Ю., Скиба Ю.Ю., Крайній І.І. – № u200606530; заяв. 13.06.2006; опубл. 15.01.2007, Бюл. №1.
5. Жигуц Ю. Ресурсозберігаюча технологія термітного зварювання сталевих деталей / Жигуц Ю., Лазар В. // Вісник ТДГУ. – 2009. – Том 14. – № 4. – С. 94–98.
6. Жигуц Ю. Методика розрахунку складу екзотермічних шихт на основі термохімічного аналізу / Жигуц Ю., Широков В. // Машинознавство. – 2005. – № 4. – С. 48–50.
7. Самсонов В.Г. Физико-химические свойства окислов: Справочник / Под ред. В.Г. Самсонова. – М.: Металлургия. 1978. – 471 с.
8. Жигуц Ю.Ю. Синтез термітної сталі марки 70Л / Жигуц Ю.Ю., Широков В.В., Заболотний А.В. Материали за 7 межд. науч. практ. конф. „Новината за напреднали наука”. – Т. 23. Технологии. София. „Бял ГРАД-БГ” ООД. – 2011. – С. 10–13.
9. Жигуц Ю.Ю. Синтез термітних суднобудівних сталей / Жигуц Ю. Ю., Чернега Д. Ф., Левдар Е. Е. Materiály VII mezinárodní vědecko-praktická konference “Vědecky pokrok na prelomu tysyachalety”. – Díl 15. Technické vědy: – Praha: Publishing House “Education and Science” s.r.o. – 2011. – С. 43–45.