

Ю.Ю. Жигуц*, Д.Ф. Чернега**, В.В. Широков***, В.Ю. Талабірчук*

*ДВНЗ “Ужгородський національний університет”,

**Національний технічний університет України “КПІ”,

***Українська академія друкарства

ТЕХНОЛОГІЯ СИНТЕЗУ ТЕРМІТНИХ ЖАРОМІЦНИХ СТАЛЕЙ З КАРБІДНИМ ЗМІЦНЕННЯМ

© Жигуц Ю.Ю., Чернега Д.Ф., Широков В.В., Талабірчук В.Ю., 2013

У результаті проведених теоретичних та експериментальних робіт встановлена можливість синтезу жароміцних сталей металотермією. Виявлено вплив металотермічного методу синтезу на особливості мікроструктури і фазового складу термітних сталей. Встановлені для синтезованих термітних аналогів промислових марок жароміцних сталей 40X15H7Г7Ф2МС та 37X12H8Г8МФБ механічні та службові властивості, їх залежність від температури та вплив зерна сплаву на властивості термітного матеріалу.

Ключові слова: металотермія, терміт, синтез, властивості, жароміцні сталі.

The possibility of synthesis of heat-resistant steels metallothermy are set as a result of theoretical and experimental work. The influence of the method of synthesis on metallothermic features of the microstructure and phase composition of the thermite steel was found. The mechanical and service properties and their dependence on temperature and the effect on the properties of the alloy grain thermite metal are set for thermite synthesized analogues of industrial heat-resistant steel grades “40X15H7Г7Ф2МС” and “37X12H8Г8МФБ”.

Key words: metallothermy, termite, synthesis, properties, heat-resistant steel.

Вступ. На сучасному рівні розвитку машинобудівної продукції особливу увагу приділяють властивостям матеріалів, які задовольняють жорстким вимогам експлуатації деталей. Одним з прикладів такого матеріалу є жароміцні сталі 40X15H7Г7Ф2МС та 37X12H8Г8МФБ, які мають комплекс високих механічних та службових властивостей, можуть використовуватися для виготовлення корпусів газових турбін, малих турбінних дисків масою від 50 кг до 1 т, бандажних кілець, екранів та деталей для кріплення. Особливістю цих сплавів є вміст вуглецю у межах 0,3–0,6 %, який, взаємодіючи з Cr, W, V та Nb, утворює зміцнювальну дисперсну карбідну фазу [1, 2].

Одночасно добре відомо, що використання металотермічних методів для синтезу матеріалів дає змогу отримувати фактично будь-який литий сплав у технологіях, які мають безперечні переваги для особливих умов литва.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Синтез литих сплавів металотермічними методами можна проводити за відсутності потужних джерел електроенергії, складного обладнання для традиційного плавлення сплаву та його заливки, без застосування вакуумних пристроїв для проведення процесу синтезу, забезпечуючи високу продуктивність та швидкість технологічного циклу [2–5]. У найпростішому варіанті металотермією синтезують сплав у футерованому ливарному ковші.

Не останньою чергою перевагою металотермічного процесу є можливість використання відходів термічного, ливарного та металорізального виробництва (залізної окалини, млива алюмінієвої стружки, відсіву лігатур, пилу з повітряних фільтрів у ливарних цехах, млива недопалених частин графітових електродів тощо). Важливо відзначити, що термітний сплав може використовуватися не тільки для отримання виливків, але і для проведення термітного зварювання, виконання екстрених ремонтних робіт тощо [6].

Мета роботи – дослідити механічні та службові властивості жароміцних термітних сталей марок 40X15H7Г7Ф2МС та 37X12H8Г8МФБ з карбідним зміцненням методами металотермічного синтезу з використанням усіх переваг цього процесу.

Завдання роботи: 1. Встановити можливість синтезу термітних жароміцних сталей з карбідним зміцненням. 2. Виявити механічні властивості термітних сталей – аналогів промислових марок 40X15H7Г7Ф2МС та 37X12H8Г8МФБ та характер їх залежності від температури. 3. Встановити тривалу міцність синтезованих сплавів за температур 600–700 °С та вплив на неї різних типів середовищ. 4. Виявити вплив зернистості синтезованого термітного матеріалу на його властивості.

Вихідні матеріали і методика приготування екзотермічної суміші. Для компонування металотермічної шихти використані матеріали: порошок алюмінію марок ПА-3–ПА-4 ГОСТ 6058-73 (або просіяне мливо алюмінієвої стружки), хром металевий ГОСТ 5905-79; ферохром ФХ65-7А ГОСТ 47570-79; силікокальцій С40Л10 ГОСТ 4762-71; силікомарганець СМн26 ГОСТ 4756-77; феросиліцій ФС65Ал3,5 ГОСТ 1415-78; 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 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.

Порошкова шихта просушувалася за температури 150–180 °С, змішувалася, а після цього розміщувалася і ущільнювалася у металотермічному реакторі [7] діаметром 80 мм з різним процентним співвідношенням компонентів у суміші. Для визначення маси металевого зливка і виходу сплаву з шихти було проведено мікроплавлення. Ініціювання процесу горіння виконувалося спеціальним титановим запалом, виготовленим з титанового порошку.

Для покращення шлаковідділення у шихту під час отримання залізовуглецевих сплавів додавався польовий шпат (CaF₂).

У дослідженнях використовували порошоків інгредієнти металотермічних шихт, частка з яких виготовлялася з відходів ливарного, ковальського та металорізального виробництва (залізна окалина, просіяне мливо графітових електродів, мливо алюмінієвої стружки тощо). Шихта попередньо розраховувалася за стехіометричним співвідношенням компонентів реакції [8], а у подальшому враховувалось засвоєння окремих компонентів реакції за допомогою відповідних коефіцієнтів.

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

Теоретичні основи синтезу. Після встановлення складу шихти за стехіометричними коефіцієнтами хімічної реакції та коригування її коефіцієнтами засвоєння компонентів шихти проводили розрахунок адіабатичної температури горіння металотермічної реакції (T_a) та теплового ефекту

реакції (Q_p) [8]. Під час проведення розрахунків з встановлення адіабатичної температури горіння шихти за існуючими методиками не враховували сублімацію алюмінію, що дає незначну похибку встановлення T_a та Q_p . Температури реагування суміші повинні бути враховані з тепловідведенням, достатнім для плавлення складових реакції і її продуктів ($T_{пл(FeO)} = 1640\text{ K}$; $T_{пл(Fe_3O_4)} = 1810\text{ K}$; $T_{(Al)} = 830\text{ K}$; $T_{пл(Fe)} = 1800\text{ K}$; $T_{(Al_2O_3)} = 2320\text{ K}$).

Розрахунок T_a , зрозуміло, не враховує тепловтрати у процесі горіння, а також повноту перетворення реагентів у продукти реакції.

Враховуючи умову розрахунку, що усе тепло витрачається на нагрівання шихти, тобто коли ентальпії вихідних і кінцевих продуктів є однаковими, знаходимо:

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

де T_o – початкова температура шихти; Q – тепловий ефект реакції; $H(T_a)$ та $H(T_o)$ – ентальпії за температур T_a і T_o ; m – кількість продуктів реакції.

У складніших рівняннях під час утворення більше ніж трьох продуктів реакції T_a знаходимо за формулою

$$T_a = \frac{Q - \sum H_i(T_{плі}) - \sum L_i + \sum C_{ip} \cdot T_{плі}}{\sum C_{pid}}, \quad (2)$$

де C_i та L_i – теплоємність і теплота плавлення продуктів реакції відповідно.

Зрозуміло, що з причин відсутності повної таблиці даних залежностей C від T за високих температур [2, 8], проводилася екстраполяція значень відповідно до встановленої залежності:

$$C_{me(T_{пл})} = 7n \cdot k \text{ (Дж/моль·град)}, \quad (3)$$

де k – перехідний коефіцієнт від кал. до Дж; $C_{me(T_{пл})}$ – теплоємність продукту за температури плавлення; n – кількість атомів у молекулі утвореного продукту.

Зазначимо, що у змодельованій задачі термодинамічна модель втрати тепла враховує макрокінетичну теорію горіння, за якої

$$T_a = T_{пл} + \frac{Q - L - \Delta H(T_{пл})}{C_{pid}}, \quad (4)$$

де Q та L – відповідно теплота утворення і теплота продукту; Q – тепловий ефект реакції; $\Delta H(T_{пл})$ – різниця ентальпій вихідних і кінцевих продуктів; C_{pid} – теплоємність рідкого продукту незалежно від температури.

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

Експериментальні роботи. Відповідно до мети та завдань дослідження автори отримали зливки синтезованої термітної жароміцної сталі типу 40X15H7Г7Ф2МС та 37X12H8Г8МФБ. З виливків вирізано тріфи та встановлено механічні властивості сталей (табл. 1).

Таблиця 1

Механічні властивості жароміцних термітних сталей з карбідним зміцненням

Марка термітної сталі	НВ	Механічні властивості					Тривала міцність		
		σ_b	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	a_n , МПа	Т, °С	σ , МПа	Час до руйнування, год
		МПа		%					
40X15H7Г7Ф2МС	255-330	910-980	640	14	15	-	600	145	80
37X12H8Г8МФБ	281-321	865	610	16	21	25	650	370-385	110

Результати дослідження механічних властивостей від температури, а саме – границі міцності (σ_b), умовної границі текучості за допуску на пластичну деформацію 0,2 % ($\sigma_{0,2}$), тривалої міцності (σ_{100}) показані на рис. 1, а та б, а відносні видовження (δ) та звуження (ψ) – на рис. 1, в та г.

Послідовне збільшення температури призводить до зменшення усіх вказаних показників міцності і збільшення δ та ψ для термітних аналогів 40X15H7Г7Ф2МС та 37X12H8Г8МФБ. Виявлено, що найінтенсивніше зменшується σ_b для 40X15H7Г7Ф2МС в діапазоні температур від 500 до 800 °С – на 450 МПа. У той самий час зміна температури від 500 до 700 °С призведе до зменшення σ_b для сталі 37X12H8Г8МФБ усього на 150 МПа.

Аналіз відносного звуження та видовження зразків термітних сталей показав, що зміна температури від 500 до 800 °С збільшує δ для термітної сталі 40X15H7Г7Ф2МС в два рази, а ψ – на 24 %. Для термітної сталі 37X12H8Г8МФБ зміна δ відбувається тільки на 3 % в діапазоні температур 500–700 °С, а відносне звуження коливається у межах 18–23 % в діапазоні температур 500–750 °С. Це пов'язано із специфічним розміщенням, величиною та типом карбідів Cr, W, V

та Nb у сталі 37X12Н8Г8МФБ, які відрізняються близькою до сферичної формою та рівномірним дрібнодисперсним їх розподілом у структурі сталі.

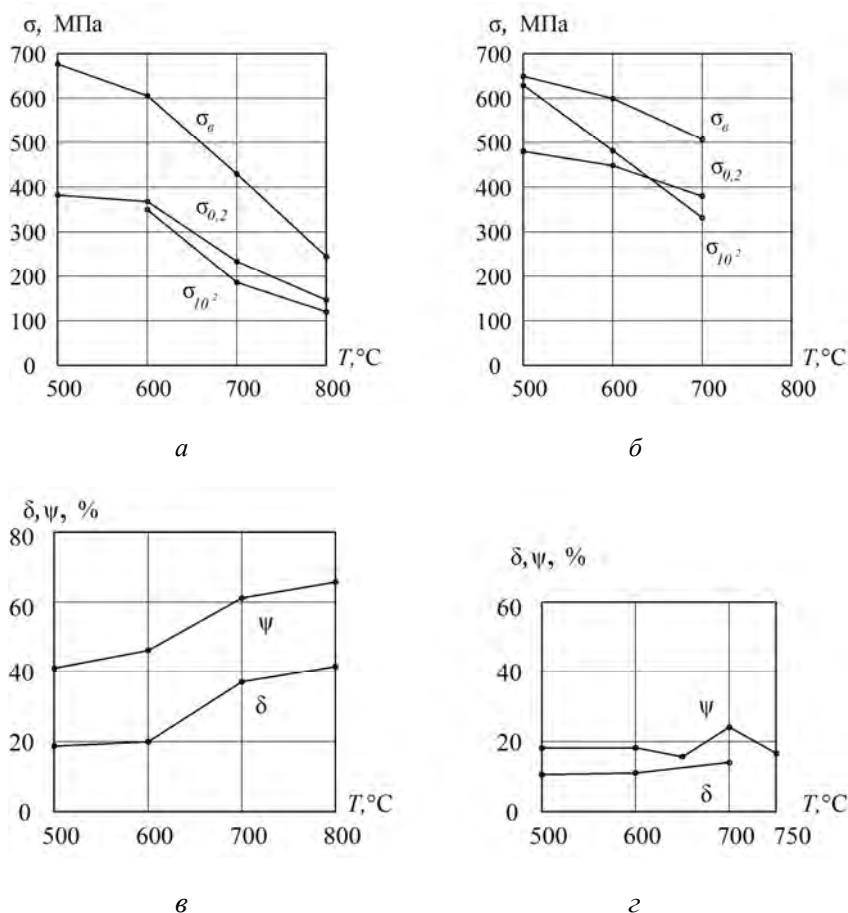
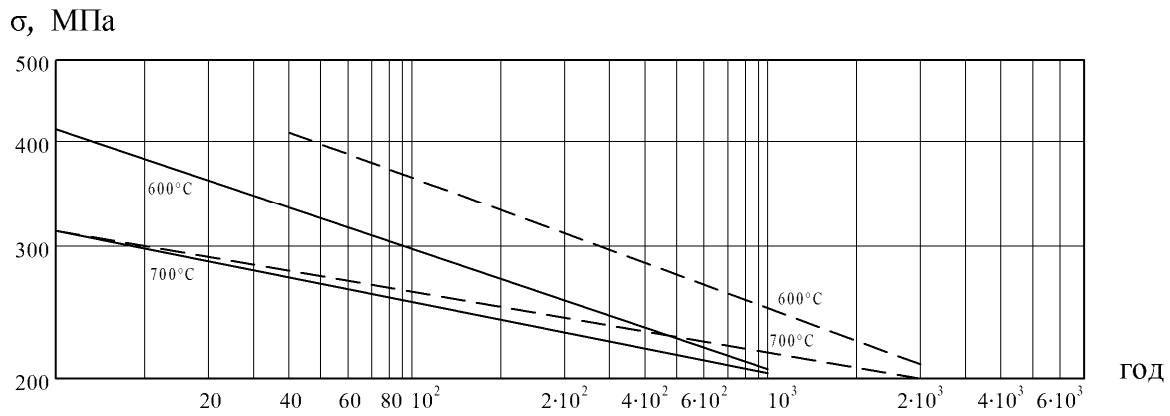


Рис. 1. Залежність механічних властивостей термітних сталей – аналогів 40X15H7Г7Ф2МС та 37X12H8Г8МФБ від температури: границя міцності (σ_b), умовна границя текучості за допуску на пластичну деформацію 0,2 % ($\sigma_{0,2}$), тривала міцність (σ_{100}) (а та б), відносні видовження (δ) та звуження (ψ) (в та г)

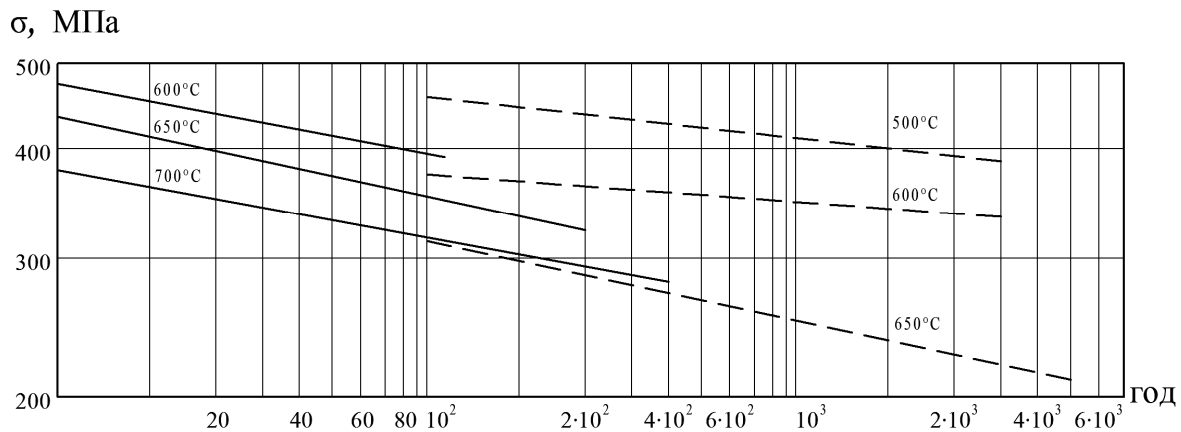
Дослідження тривалої міцності термітних сталей 40X15H7Г7Ф2МС та 37X12H8Г8МФБ показано на рис. 2. Очікується, що значення σ , отримані у повітряному середовищі, на 15–25 % вищі, ніж у паровому середовищі.

Карбіди не істотно змінюють свої властивості для термітної сталі 37X12H8Г8МФБ у межах 500–800 °С, а кількість їх у 4 рази більша, ніж у термітній сталі 40X15H7Г7Ф2МС. Серед карбідів об'ємна частка яких найбільше впливає на властивості термітної сталі, слід звернути увагу на карбіди хрому (Cr_{23}C_6) та ванадію (VC). За високих температур ці карбіди входять, як окрема фазова складова у порівняно однорідний за об'ємом твердий розчин, який за зменшення температури розпадається з утворенням додаткових карбідних фаз різної дисперсності.

Тривала міцність сталей під час дослідження у двох типах середовища (повітрі та воді) в діапазоні температур 200–500 °С виявляє її послідовне зменшення залежно від часу проведення експерименту. Так, зменшення σ термітної сталі 40X15H7Г7Ф2МС для часу $4 \cdot 10^2$ год становить ~ 120 МПа у воді та 140 МПа – на повітрі, а для термітної сталі 37X12H8Г8МФБ така сама зміна σ становить ~ 180 МПа у воді під час проведення експерименту упродовж $5 \cdot 10^3$ год. та 120 МПа – на повітрі.



а



б

Рис. 2. Тривала міцність термітних сталей 40X15H7Г7Ф2МС (а) та 37X12H8Г8МФБ (б) за різних температур (пунктиром показано залежності, отримані у середовищі повітря, суцільна лінія – середовище пари)

Тривала міцність та експлуатаційні властивості сталі залежать від величини зерна та однорідності структури деталі. Тому особливо важливо витримувати заданий режим охолодження термітної сталі для отримання дрібнодисперсної однорідної структури. Вироби з термітної дрібнодисперсної сталі мають більшу стійкість під час експлуатації. Продовження експериментальних робіт було направлено на встановлення впливу величини зернистості термітної сталі на δ_{10} , ψ та час до руйнування (табл. 2).

Таблиця 2

Тривала міцність термітної сталі 37X12H8Г8МФБ з різним типом зерна за 650 °С

Величина зерна, мм	δ_{10}	ψ	Час до руйнування, год, зразків	
			гладких	з надрізом (r = 0,5 мм)
Дрібнодисперсний	2,8	5,5	171	165
0,5–1,0	1,7	4	163	63
1,5–2,0	1,4	4	76	56
3–5	1,9	3,8	41	37

У табл. 2 наведено вплив зерна на механічні властивості термітної сталі 37X12H8Г8МФБ. Залежно від типу зразка (гладкий або з надрізом) встановлено, що збільшення зерна до 3–5 мм призводить до зменшення майже у 4 рази часу до руйнування зразка.

Висновки: 1. Встановлено, що металотермічні методи можуть успішно використовуватися для синтезу термітних жароміцних сталей – аналогів промислових марок 40X15H7Г7Ф2МС та 37X12H8Г8МФБ.

2. Виявлені механічні властивості вказаних марок матеріалів та вплив на них температури вказують на те, що термітні сталі можуть успішно замінити промислові марки сталей.

3. Встановлена тривала міцність термітних сталей 40X15H7Г7Ф2МС і 37X12H8Г8МФБ у паровому середовищі та на повітрі.

4. Виявлено вплив зернистості матеріалу на механічні та службові властивості сталі 37X12H8Г8МФБ.

1. Солнцев Ю. П. *Материаловедение [Текст]* / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин. — М.: Химиздат, 2007. — 784 с. 2. Жигуц Ю. Ю. *Сплави, синтезовані металотермією і СВС-процесами [Текст]* / Ю. Ю. Жигуц. — Ужгород: Гражда, 2008. — 276 с. 3. Жигуц Ю. Ю. *Технологія виробництва термітного високопрочного чугуна* / Ю. Ю. Жигуц, В. Ф. Лазар, Л. І. Косюк // Міжнар. зб. наук. пр. “Прогресивні технології і системи машинобудування”. Донецький нац. техн. ун-т. — 2012. — № 1,2 (43). — С. 142–147. 4. 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. 5. Жигуц Ю. Ю. *Технологія отримання термітних суднобудівних сталей [Текст]* / Ю. Ю. Жигуц // *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: зб. наук. пр.* — 2012. — № 3 (28). — С. 283–286. 6. Жигуц Ю. *Ресурсозберігаюча технологія термітного зварювання сталевих деталей [Текст]* / Ю. Жигуц, В. Лазар // *Вісник ТДТУ*. — 2009. — Т. 14, № 4. — С. 94–98. 7. *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. 8. Жигуц Ю. Ю. *Методика розрахунку складу екзотермічних шихт на основі термохімічного аналізу [Текст]* / Ю. Жигуц, В. Широков // *Машинознавство*. — 2005. — № 4. — С. 48–50.