

УДК 621.74.04:669.112.22

Ю.Ю. Жигуц, зав. кафедрою, д.т.н., професор

ТЕХНОЛОГІЯ ОДЕРЖАННЯ ТА СЛУЖБОВІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕРМІТНОЇ СТАЛІ 20

Ужгородський національний університет

В работе проанализирована технология получения термитной стали, аналога промышленной стали 20. Исследована термитная сталь, ее химический состав, особенности структуры, механические и служебные свойства. Выявлено изменение механических свойств от температуры, установлена зависимость пластичности данной стали от продолжительности и температуры испытаний. При изготовлении термитной стали реализованы основные преимущества металлотермического синтеза. Разработанную технологию можно использовать при экстренной сварке заготовок и ремонте деталей.

Ключевые слова: термитная сталь, синтез, металлотермическая шихта, свойства, термитная плавка

У роботі проаналізовано технологію одержання термітної сталі, що є аналогом промислової сталі 20. Досліджено термітну сталь, її хімічний склад, особливості структури, механічні та службові властивості. Виявлено змінювання механічних властивостей від температури, встановлено залежність пластичності зазначеної сталі від тривалості та температури випробування. Під час виготовлення термітної сталі реалізовано основні переваги металотермічного синтезу. Розроблену технологію синтезу можна використовувати під час екстреного зварювання заготовок і ремонту деталей.

Ключові слова: термітна сталь, синтез, металотермічна шихта, властивості, термітне плавлення

The technology of termite steel of receipt, which is analog for industrial steel 20 was analyzed in the paper. It is researched the termite steel, its chemical composition, structure features, mechanical and service properties. The change of mechanical properties from a temperature is educed, dependence of plasticity of termite steel from duration and temperature of tests is set. At the making of termite steel main advantages metallotermic synthesis are used. The engineering technology of synthesis can be used at special welding of blanks and mending of parts.

Key words: termite steel, synthesis, metallotermic charge, properties, termite melting

Вступ. У практиці машинобудівного виробництва широко застосовують конструкційні сталі. Однією з найбільш типових у даному класі сталей є сталь 20, яка має широкий спектр технологічних і службових властивостей. Конструкційну сталь зазначеної марки використовують і в енергетичному машинобудуванні для деталей, що працюють за температури 400...450 °С. Вищі температури експлуатації деталей з цього сплаву призводять до графітизації сталі, а міра графітизації залежить ще і від міри розкислення, способу розкислення та хімічного складу.

З минулого століття відомі також металотермічні способи одержання сплавів, частка з яких заснована на класичних термітних реакціях [1,2]. Незважаючи на те, що в технологіях синтезу сплавів, заснованих на термітних реакціях, одержують заготов-

ки та деталі, які є дорожчими, ніж під час застосування ординарних промислових технологій, за певних умов вони стають економічно доцільними. Слід тільки використати переваги таких технологій, а саме, високу продуктивність, універсальність та автономність (для їх реалізації не потрібні значні джерела електроенергії, не потрібне складне ливарне обладнання), не в останню чергу важливим є і малий час на впровадження технології до виробництва [3-7] та ін.

Постановка проблеми. Все наведене вище поставило науково-технічну проблему, яка полягає у встановленні можливості синтезу вуглецевої термітної сталі, дослідженні її технологічних і службових властивостей та використанні матеріалу для одержання спеціальних деталей енергетичного машинобудування та їх ремонту.

Мета роботи. Встановлення механічних властивостей за різної температури, виявлення залежності пластичності термітної сталі від тривалості та температури випробування, а також дослідження релаксаційної стійкості за певної температури.

Матеріали та методика проведення металотермічного плавлення. Для komponування металотермічної суміші використовували такі матеріали: ферохром ФХ65-7А (ГОСТ 47570-79); силікомарганець СМн26 (ГОСТ 4756-77); феросиліцій ФС65Ал3,5 (ГОСТ 1415-78); алюмінієвий порошок марок ПА-3 і ПА-4 (ГОСТ 6058-73) та просіяне мливо алюмінієвої стружки; феромарганець ФМн70 (ГОСТ 4761-80); залізна окалина (ковальського та прокатного виробництв) із середнім хімічним складом (% за масою): 50...60 FeO; 40...50 Fe₂O₃; 0,10...0,35 Si; 0,10...0,35 Mn; 0,05 C; 0,01...0,03 S; 0,01...0,03 P та ін.

Для визначення маси металевого зливка та виходу металу з шихти проведено мікроплавлення з масою шихти 300 г у металотермічному реакторі діаметром 80 мм з різним процентним співвідношенням компонентів у суміші. Ініціювання процесу горіння виконували за допомогою спеціального титанового запальника.

Шихту попередньо розраховували за стехіометричними співвідношеннями компонентів реакції [8], а у подальшому її склад коригували за допомогою коефіцієнтів засвоєння компонентів реакції. Порошкову шихту попередньо просушували за температури 150...180 °С, перемішували й ущільнювали, а після цього розміщували у верхній камері металотермічного реактора [9,10]. Для покращення відділення шлаків до шихти додавали польовий шпат (CaF₂). Після плавлення відокремлювали сплав від шлаку, оцінюючи структуру шлаку, та проводили контрольне зважування й дослідження синтезованого зливку. Третій етап досліджень [11,12] полягав у корекції складу шихти за рахунок внесення відповідних інертних домішок.

Методика термохімічних розрахунків та теоретичні дослідження. Після встановлення складу шихти за стехіометричними коефіцієнтами хімічної реакції та корегування її коефіцієнтами засвоєння компонентів шихти здійснювали розрахунки адіабатичної температури горіння [8]. Під час проведення розрахунків за існуючими методиками не враховували сублимацію алюмінію, що дає несуттєву похибку встановлення адіабатичної температури (T_a) та теплоти утворення продуктів реакції (Q). Основний критерій одержання злиwkів – адіабатична температура (T_a) – повинен для всіх реакцій бути вище ніж температура плавлення продуктів реакції ($T_{пл}$). Розрахунки T_a не враховують втрати теплоти у процесі горіння та повноту перетворення реагентів на продукти реакції. У спрощеній схемі розрахунків значення T_a визначали без врахування точних величин теплоємності, а тепловий ефект встановлювали за середньої температури (наприклад, 2500 К). Змінюванням ж теплового ефекту, коли продукти реакції знаходяться у рідкому стані, можна знехтувати.

За відповідних значень ентальпії (ΔT) продукту горіння адіабатичну температуру T_a розраховували за формулою:

$$T_a = T_{nl} + \frac{Q - L - \Delta H(T_{nl})}{C}, \quad (1)$$

де C, L – відповідно теплоємність і теплота продукту горіння.

Експериментальні дослідження. Відомо, що добре розкислена промислова сталь є більш схильною до графітизації, ніж напівспокійна або кипляча. Така ж ситуація виникає і під час додаткового розкислення надлишковим порошковим алюмінієм із шихти. Як результат експериментальних робіт, виявлено, що термітна сталь 20 починає помітно графітуватися через 10 тисяч годин. Особливо суттєво такі процеси відбуваються у навколошовній зоні після термітного зварювання, саме там, де температура зони термітного впливу складає більше 500...700 °С.

Ще однією особливістю металотермічного синтезу є висока температура у зоні реагування компонентів реакції. Під час використання двокамерної конструкції металотермічного реактора [9,10] збільшується і тривалість витримки рідкого розплаву в нижній камері, що суттєво сприяє глобуляризації синтезованих карбідів. Вплив двох вказаних процесів, які проходять одночасно під час тверднення й охолодження термітної сталі, призводять до зменшення її міцності, пластичності та ударної в'язкості. Структура досліджуваної сталі складається з фериту й окремих ділянок перліту різної щільності. Тільки під час одержання виливків у кокілі біля кіркової зони спостерігається структура мартенситного типу.

Експериментальні дослідження дозволили встановити залежність пластичності від тривалості та температури випробування для термітної вуглецевої сталі з вмістом 0,18 % вуглецю, 0,50 % марганцю, 0,70 % кремнію, 0,05 % фосфору та 0,05 % сірки за температури 550, 600 та 650 °С. Результати випробувань представлено на рис. 1.

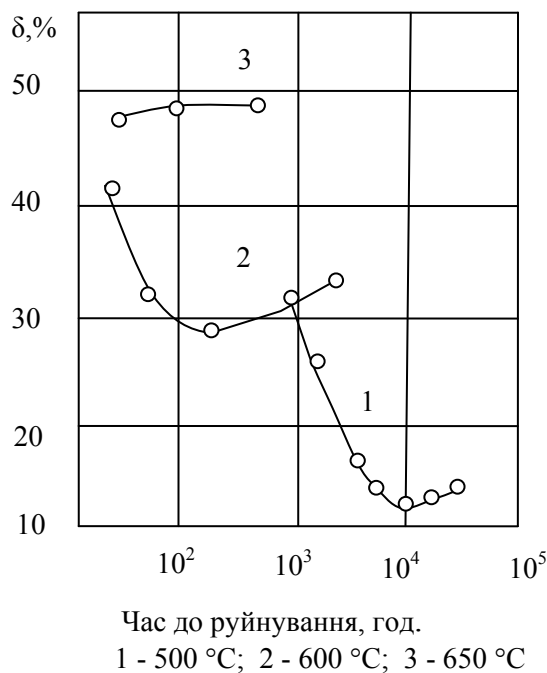


Рисунок 1 – Залежність пластичності термітної сталі, що є аналогом конструкційної сталі 20, від тривалості та температури випробування

Одержані значення механічних властивостей термітної сталі 20 залежно від температури випробування подано у табл. 1. Слід звернути увагу і на те, що за темпе-

ратури 450 °С границя витривалої міцності, що спричинює руйнування за 10000 годин (σ_{10^4}) відповідає 60 МПа та для 100000 годин (σ_{10^5}) – 85 МПа, а за температури 500 °С – $\sigma_{10^4} = 3,2$ МПа та $\sigma_{10^5} = 6,9$ МПа відповідно.

Продовження експериментальних досліджень було спрямовано на встановлення релаксаційної стійкості сталі – аналога за хімічним складом промислової сталі 20 – за температури 400 і 500 °С. Одержані результати наведено у табл. 2.

Таблиця 1 – Умовна границя текучості за допуском на пластичну деформацію 0,2 % ($\sigma_{0,2}$), границя міцності на розтяг (σ_B), відносна пластичність зразка (δ), відносне звужування зразка (φ), ударна в'язкість (a_n) та модуль нормальної пружності (E) термітної сталі 20 за різної температури

Температура випробовування, °С	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	φ	$a_n, \cdot 10^2, \text{кН}\cdot\text{м}/\text{м}^2$	$E, \cdot 10^3, \text{Н}/\text{м}^2$
	МПа		%			
20	258	491	21,5	58,3	8...16	2,08
100	235	423	23,1	62,2	14	1,92
200	209	372	23,7	64,6	14...18	1,68
300	153	368	26,3	68,1	16...20	1,65
400	128	362	28,5	69,8	10...13	1,63
450	126	329	29,3	73,1	8...11	1,49
500	112	235	32,8	75,6	7...8	-
550	85	197	35,6	81,1	7...9	-
600	61	154	44,1	88,7	-	-

Таблиця 2 – Релаксаційна стійкість термітної сталі аналога промислової сталі 20

Температура, °С	$\sigma_B, \text{МПа}$	$\sigma_t, \text{МПа}$ за період, год.							
		25	100	500	1000	2000	3000	5000	10000
400	80...140	4,5...9,3	9,5...3,9	8,7...3,4	8,2...2,9	2,7...7,9	2,2...7,3	1,9...7,0	1,7...6,5
500	50...110	3,7...7,5	7,1...3,9	6,3...3,1	6,0...2,9	9,5...4,7	2,1...3,9	2,0...3,7	1,8...3,2

Примітка: Значення залишкових напружень для 5000 і 10000 год. одержано як результат екстраполяції

Обговорення результатів дослідження. Аналіз змінювання механічних властивостей залежно від температури та релаксаційної стійкості досліджуваної термітної сталі порівняно із властивостями промислової сталі свідчить, що металотермічний спосіб одержання позитивно впливає на термітну сталь 20. Досліджені властивості сталі виявилися не гіршими, а пластичність сталі залежно від тривалості та температури випробування навіть на 9,5...15 % кращою.

Не менш важливо і те, що розроблену технологію синтезу термітної сталі можна успішно використовувати під час екстреного зварювання заготовок за допомогою металотермічних паст, а також ремонту деталей.

Висновки.

1. Досліджено механічні та службові властивості термітної сталі (аналога промислової сталі марки 20), а саме встановлено змінювання механічних властивостей від температури, залежність пластичності від тривалості та температури випробування.

2. Встановлено особливості структури термітної сталі, зокрема, виявлено вплив металотермічного способу синтезу сплаву на процеси графітизації та на формування й розподіл карбідів у термітній сталі.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Фасонное литье из термитной стали [Текст] / М. З. Золковер, А. С. Гридунов, С. О. Бируля-Бильницкий [и др.] : под ред. М. З. Золковера. – М. : Дориздат, 1950. – 48 с. – Библиогр. : с. 47.
2. Жигуц, Ю. Ю. Сплавы, синтезовані металотермією і СВС-процесами [Текст] : монографія / Ю. Ю. Жигуц. – Ужгород : Гражда, 2008. – 276 с. – Бібліогр. : с. 253-278.
3. Жигуц, Ю. Ресурсозберігаюча технологія термітного зварювання сталевих деталей [Текст] / Ю. Жигуц, В. Лазар // Вісник ТДТУ. – Тернопіль : ТДТУ, 2009. – Т. 14, № 4. – С. 94-98.
4. Жигуц, Ю. Ю. Технологія отримання термітних суднобудівних сталей [Текст] / Ю. Ю. Жигуц // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – Краматорськ : ДДМА, 2012. – № 3 (28). – С. 283-286.
5. Лазар, В. Ф. Синтез термітної сталі 35Л [Текст] / В. Ф. Лазар, Л. І. Косюк // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів і конструкцій. Збірник наукових праць. – Львів : Каменяр, 2012. – Вип. 9. – С. 215-221.
6. Жигуц, Ю. Ю. Использование термитных высоколегированных сталей для питания отливок [Текст] / Ю. Ю. Жигуц // Металлургия машиностроения. – 2007. – № 5. – С. 5-9.
7. Жигуц, Ю. Ю. Використання термітних легованих сталей для живлення виливків [Текст] / Ю. Ю. Жигуц // Вісник національного університету «Львівська політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2007. – № 583. – С. 118-122.
8. Жигуц, Ю. Методика розрахунку складу екзотермічних шихт на основі термохімічного аналізу [Текст] / Ю. Жигуц, В. Широков // Машинознавство. – 2005. – № 4. – С. 48-50.
9. Металотермічний реактор [Текст] : пат. 20045 Україна : МПК В22 С9/00 / Ю. Ю. Жигуц, Ю. Ю. Скиба, І. І. Крайній ; заявник і патентовласник Ужгород. нац. ун-тет. – № 200606530 ; заяв. 13.06.06; опубл. 15.01.07, Бюл. № 1.
10. Спосіб електротермічного приварювання інструментальної пластини із швидкорізальної сталі до основи інструменту [Текст] : пат. 27948 Україна : МПК В 22 Р 15.00 / Ю. Ю. Жигуц, Ю. Ю. Скиба ; заявник і патентоволодар Ужгород. нац. ун-тет. – № 200606710 ; заяв. 13.06.06 ; опубл. 26.11.07, Бюл. № 19.
11. Жигуц, Ю. Ю. Термітне зварювання високо марганцевих сталей [Текст] / Ю. Ю. Жигуц // Сварщик. – 2007. – № 5. – С. 14-16.
12. 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.

Стаття надійшла до редакції 24.05.2013 р.
Рецензент, проф. В.Р. Козубовський