

ВИКОРИСТАННЯ ТЕРМІТНИХ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ВИЛИВКІВ

© Жигуц Ю.Ю., 2007

Розглянуто проблеми, що стосуються синтезу легованих сталей металотермією. На основі розробленої методики розрахунку скомпоновано склади шихт, а потім і синтезовані термітні сталі. Виявлено особливості проведення металотермічних плавлень, досліджено механічні властивості і структура отриманих легованих сталей, розроблено різні види технологій для одержання термітних легованих сталей.

The given paper deals with the problems of the synthesis of alloyed steel by metallothermy and by self-propagation high-temperature synthesis. On the basis of investigated method of calculations structures of charges have been arranged and steels have been synthesized further. Peculiarities metallothermic smelting were found, mechanical properties and structure of received alloyed steels were investigated and different technologies for thermite alloyed steel receiving were worked out.

Вступ. Під час вирішення проблеми створення нових та покращання властивостей традиційних матеріалів успішно можна застосовувати сплави, отримані способом спалювання екзотермічних порошкових сумішей. Саме тому, їх синтез і дослідження впливу способу отримання сплаву на мікроструктуру, хімічний склад, механічні властивості виготовлених виливків набувають великого практичного значення.

Ще в 30-х роках уперше був запропонований метод одержання рідкої сталі внаслідок горіння термітної суміші [1], а через два десятиліття в роботі М.З.Золковера [2] вказується на одне з перших впроваджень у промислову практику ливарного виробництва алюмінотермічного плавлення сталі і одержання фасонних виливків.

Одночасно з розробкою технологій алюмінотермічного плавлення сталі постала проблема економії рідкого сплаву під час використання спеціальних методів живлення виливків, наприклад, технологією термітних ливарних додатків. У цій технології використовують різні екзотермічні суміші [3]. Недоліком вказаних і аналогічних сумішей [3–6] є необхідність застосування в них феросплавів легуючих елементів, у той час як металотермічні реакції дозволяють відновлювати їх з дешевшої і менш дефіцитної сировини. Усунення ж ліквациї, що виникає у піддодатковій зоні виливка під час застосування маловуглецевого терміту, можливо під час синтезу термітної сталі того самого хімічного складу, що і залита у форму.

Мета роботи – встановлення можливості отримувати леговані сталі металотермічними способами, а також дослідження властивостей і структури, особливостей хімічного складу синтезованої сталі та подальшого її використання в технології металотермічних додатків високого температурного градієнта. При компонованні складів шихт переслідували також мету максимально повного використання відходів металургійного та металообробного виробництв.

Матеріали і методика проведення експерименту. Під час виконання роботи були використані матеріали: сажа ацетиленова (технічний вуглець ТУ 14-7-24-80), порошок алюмінієвий ПА-3–ПА-4 ГОСТ6058-73, просіяне мливо алюмінієвої стружки, лігатури феросиліцію ФС75, феромарганцю ФМн75, ферохрому ФХ100А; феромолібдену ФМО55А, порошоків Ні та ін.

Дисперсність порошкових матеріалів становила 0,1–0,4 мм. Випробовування на розтяг виконувалося на взірцях, виготовлених з нижньої центральної частини отриманих виливків. Заготовки для шліфів виготовляли з головок взірців для механічних випробовувань. Для визначення маси зливка і виходу сплаву з шихти були проведені мікроплавлення масою 200–300 г у тиглі діаметром 80 мм, футерованому магнезитом, із різним процентним співвідношенням компонентів у суміші. Ініціювання процесу горіння проводили спеціальним запалом з порошку титанового хімічного ПХ-2 ТУ 48-10-78-83 масою 3–5 г. Порошкову шихту просушували, перемішували, ущільнювали і після цього розміщували у металотермічному тиглі.

Теоретичні дослідження. Під час організації процесу синтезу термітних сталей алюміно-термією використовуються класичні термітні реакції засновані на окисленні алюмінію і відновленні заліза [7–9]. Схему для отримання досліджуваних сталей металотермією під час використання порошкових інгредієнтів – сумішей металів, феросплавів та оксидів можна показати формулою



Завдання дослідження полягало у тому, щоб розробити методику розрахунку складу шихти на основі стехіометричного співвідношення компонентів реакції із коригуванням її за рахунок відповідних коефіцієнтів, що враховують засвоєння легуючих елементів рідкою термітною сталлю. Ця методика дає змогу встановити не тільки склад металотермічної шихти, але і розрахувати адіабатичну температуру її горіння. Головною умовою металотермічного процесу є необхідність мати реальну температуру горіння вище температури плавлення шлаку [2–5] (для Al_2O_3 – 2400 К).

Поставлене завдання розв'язували за допомогою екзотермічної суміші для живлення виливків з легуваних сталей, що складалася з багатих перекисом марганцю пус'єр – відходу електродугового плавлення високомарганцевої сталі, а також залізоалюмінієвого терміту, додатково введеного алюмінію у вигляді порошку або млива алюмінієвої стружки і порошку графіту, виготовленого із залишків графітових електродів. Масу шихти (m_{ϕ}) і її температуру ($T_{г.ш.}$) розраховували за формулами

$$m_{ш} = \frac{(m_T \cdot \varphi(\varepsilon - \varepsilon_{T.C.}) + m_n(\varepsilon - \varepsilon_n \cdot \eta))}{\varepsilon_{\phi} n_{\phi} - \varepsilon}, \quad (1)$$

$$T_{г.ш.} = \frac{\left(Q_{ш} \cdot m_{ш} - \left(L_{Fe} \cdot m_{Fe} + L_{Al_2O_3} \cdot m_{Al_2O_3} + \sum_{i=1}^n L_{\phi} \cdot m_{\phi} \right) \right)}{\left(C_{pFe} \cdot m_{Fe} + C_{pAl_2O_3} \cdot m_{Al_2O_3} + \sum_{i=1}^n C_{p.\phi} \cdot m_{\phi} \right) + T_0}, \quad (2)$$

де L_{Fe} – теплота плавлення заліза, кДж/кг; $L_{Al_2O_3}$ – теплота плавлення оксиду алюмінію, кДж/кг; L_{ϕ} – теплота плавлення феросплаву, кДж/кг; C_{pFe} – питома теплоємність рідкого заліза, кДж/кг; $C_{pAl_2O_3}$ – питома теплоємність розплавленого оксиду алюмінію, кДж/(кг К); $C_{p.\phi}$ – питома теплоємність рідкого феросплаву, кДж/(кг К); T_0 – температура навколишнього середовища; φ – вихід термітної сталі; $\varepsilon, \varepsilon_{m.c.}, \varepsilon_n$ – середній вміст хімічного елемента відповідно в сталі додатка, вихідної термітної сталі і наповнювачі, %; n_{ϕ} – кількість феросплавів у шихті, η – коефіцієнт засвоєння хімічного елемента термітною сталлю з феросплаву і наповнювача, m_{ϕ} , $m_{Al_2O_3}$, m_{Al} – маса відповідно феросплаву, оксиду алюмінія, порошкового алюмінію.

З метою підвищення стабільності горіння і поліпшення кінетичних характеристик перебігу реакцій, у склад шихти вводилося 1–2 % (від маси шихти) плавикового шпату CaF_2 , який не тільки знижує температуру загоряння екзотермічної порошкової суміші, але і підвищує вихід сталі з неї.

Експериментальні дослідження. На основі проведених мікроплавлень виявлено залежності засвоєння термітним сплавом вуглецю (у вигляді сріблястого графіту) та інших елементів, що було

необхідно для одержання необхідного хімічного складу термітної сталі при розрахунку складів шихт. Врахувавши проведені дослідження [7, 8], автор розробив і одержав різні типи вуглецевих термітних сталей, аналоги промислових марок, внаслідок алюмінотермічного відновлення залізної окалини із введенням у терміт додатково вуглецю і феросплавів. На основі розроблених складів екзотермічних шихт отримано термітні сталі 20ГЛ, 35ГЛ, 30ГЛ, 30ГСЛ, 32ХО6Л, 40ХЛ, 20Х5МЛ (з перліто-феритною структурою) і 20Х5ТЛ, 40Х9С2Л (з мартенситною структурою). Механічні властивості цих сталей після стандартної термічної обробки (нормалізації) наведені в табл. 1. Синтезовано також нержавійної сталі 12Х18Н10Т и 10Х18Н4ГЛ.

Дані аналізу механічних властивостей і мікроструктури (табл. 1 і 2) дозволяють зробити висновок, що отримана термітна сталь не поступається за встановленими властивостями (σ_T , σ_B , δ) ливарній, а за ударною в'язкістю на 20 % перевершує її, що пов'язано із дорозкисненням і мікролегуванням термітної сталі алюмінієм.

Таблиця 1

Склад і властивості термітних сталей

Сталь	Склад металотермічної шихти	Частка хімічних елементів у сталі, % за масою							Механічні властивості		
		C	Si	Mn	S	P	Cr	Ti	σ_T , МПа	σ_B , МПа	σ , %
30ГЛ	92,9–98,9 залізоалюмінієвого терміту; 0,06–0,1 електродного порошку; 1,2–1,7 феромарганцю ФМн 75	0,25	0,32	1,3	0,01	0,03	–	–	300	550	20
		–	–	–							
40ХЛ ¹	92,9–98,9 залізоалюмінієвого терміту; 0,18–0,2 електродного порошку; 0,8–0,9 феромарганцю ФМн 75	0,32	0,35	1,6	0,01	0,04	–	–	500	650	12
		0,34	0,32	0,75							
20Х5МЛ ²	92,3–95,59 залізоалюмінієвого терміту; 0,08–0,1 електродного порошку; 0,01–0,4 феросиліцію ФС75; 0,3–0,6 феромарганцю ФМн75; 3,7–6,1 феро- хрому ФХ100А; 0,4 – 0,6 феромоліб- дену ФМО55А	0,17	0,36	0,35	0,01	0,03	4,5	0,05	400	600	16
		–	–	–				–			
20Х5ТЛ ²	95,89...92,9 залізоалюмінієвого терміту; 0,01...0,3 феросиліцію ФС75; 0,3...0,6 феромарганцю ФМн75; 3,7... 6,0 феро- хрому ФХ100А; 0,1...0,2 феротитану ФТи30А	0,17	0,36	0,35	0,01	0,03	4,5	0,05	400	600	16
		–	–	–				–			
40Х9С2Л ²	90,3–87,3 залізоалюмінієвого терміту; 0,18–0,2 електродного порошку; 1,9–2,4 феросиліцію ФС75; 0,2–0,6 феромар- ганцю ФМн75; 7,6 –9,7 ферохрому ФХ200А	0,37	2,12	0,35	0,02	0,03	8,2	650	850	6	
		–	–	–			–				8,9
20Х13Л ²	86,2–88,5 залізоалюмінієвого терміту; 0,08–0,1 електродного порошку; 0,2–0,6 феромарганцю ФМн75; 11,3–13,2 феро- хрому ФХ200А	0,18	0,5	0,35	0,02	0,02	12	470	620	20	
		–	–	–			–				13,5
		0,24	0,7	0,42							

¹ Структура стали перліто-феритна.

² Структура сталі мартенситна.

Механічні властивості змішаної сталі

Вміст термітної сталі у змішаній, % за масою	σ_T , МПа	σ_B , МПа	σ , %	ψ , %	КСУ, Дж/см ²	Розмір зерна в балах
0	305	430	32	56,4	1100	1
1	305	440	34	60,6	1160	2
2,5	315	430	34,5	69,4	1300	4
5	355	450	36,0	70,0	1320	4

Додавання термітної сталі до звичайної (що трапляється у піддодатковій зоні виливків отриманих за технологією термітних ливарних додатків високого температурного градієнту) різко зменшує розмір зерна в литому стані. За цієї ж причини сталь у піддодатковій зоні сталевих виливків, отриманих за цією технологією, виходить більш дрібнозернистою, ніж під час використання ординарної технології. Виявлено оптимальні співвідношення компонентів металотермічних шихт, що забезпечують одержання конструкційних малолегованих і легованих, а також високолегованих сталей. Високий процентний вміст домішок і феросплавів надмірно “охолоджує” екзотермічну реакцію і тоді розрахунковий склад шихти високолегованої термітної сталі, не дозволяє одержати належну температуру горіння екзотермічної суміші. У цьому разі необхідно використовувати інший, відмінний від вищеописаного напрямок синтезу легованих сталей.

Другий перспективний напрям синтезу сталей полягає в одержанні заданого хімічного складу сталі не введенням певної кількості феросплавів, а компонованням спеціальної екзотермічної шихти, до складу якої входять оксиди легуючих елементів (наприклад, Cr_2O_3 , CrO_3 , NiO , CuO , V_2O_5 і ін.) і залізна окалина відновлювані алюмінієм під час алюмінотермічного процесу.

Для одержання термітного високолегованого сплаву цим способом розроблена методика розрахунку шихти і технологія синтезу. Наприклад, у такий спосіб була синтезована сталь 12X18H10T на основі оксидів Fe, Ni, Cr. Титан вводиться до складу екзотермічної шихти не у вигляді TiO_2 , а у вигляді феротитану (30 %-го), що пов'язано із малою відновлюваністю титану з його оксидів алюмінієм. Склад шихти: Cr_2O_3 – 17,2 %; Fe_3O_4 – 50 %; Ni – 6,6 %; Al – 26,2 %.

Вуглець і титан під час введення у металотермічну шихту переводять реакцію синтезу з класу металотермічних у клас “комбінованих”, тобто таких, що складаються з металотермічної фази і фази високотемпературного саморозповсюджувального синтезу [7]. Спектроскопічний аналіз зразків синтезованої сталі показав погану відновлюваність хрому з його оксидів.

Говорячи про нерівномірність розподілу елементів у зливках, отриманих алюмінотермічним відновленням оксидів, не можна не вказати на послідовність взаємодії цих оксидів з алюмінієм. У початковий період відбувається відновлення таких легковідновних елементів, як Fe, Ni й ін., а важковідновні переходять у шлаковий розплав. Надалі, термітний сплав, що містить надлишковий алюміній, проходячи через шар шлаку, відновлює і важковідновні оксиди.

Так, при синтезі сталі 12X18H10T, спочатку відбувається відновлення оксидів заліза, а вже потім хрому. Цим зумовлений недостатньо високий вміст Cr в отриманій термітній легованій сталі. Для поліпшення повноти відновлення всіх оксидів, необхідно проводити екзотермічні плавки з більшими масами шихти.

Виявлено, що введення більше 20 % домішок у терміт призводить до припинення розділення термітної сталі і шлаку в умовах лабораторних термітних мікроплавлень при масі шихти до 300 г. Для маси екзотермічної шихти від 10 до 50 кг вміст домішок у ній можна довести до 30–35 %.

Одержання стабільного хімічного складу термітної сталі багато в чому визначає і стабільність її механічних властивостей. Тому проблема регулювання вмісту кисню, водню, алюмінію, сірки й інших елементів у термітному сплаві набувають особливої важливості. Зменшення їх вмісту в

термітному сплаві можна досягнути за рахунок: отримання проб залізної окалини для визначення її хімічного складу і вмісту Fe, Fe₂O₃ при встановленні необхідної кількості алюмінію за стехіометричним співвідношенням; у разі істотної розбіжності отриманого і необхідного співвідношення Fe і Fe₂O₃, залізна окалина додатково доокислюється відпалом. Вміст водню і сірки в сплаві витримують у належних межах також знежиренням і просушуванням алюмінієвої стружки з метою видалення залишків вологи, мастильно охолоджувальної рідини тощо.

Для зменшення впливу на термітний сплав високої температури та усунення пов'язаної із нею високої пористості і усадки у виливках, до складу шихти вводилися інертні домішки – сталева стружка і феросплави (за умови, що температура горіння шихти зберігається вище 2400 К – температури плавлення глиноземистого шлаку). Їх кількість визначали за формулою (1).

Продовжуючи цю роботу, були успішно проведені в дослідно-промислових умовах експерименти з використання вищеописаних складів шихт для термітних ливарних додатків виливків з легованих сталей на Сумському машинобудівному науково-виробничому об'єднанні.

Висновки. Теоретично і експериментально показана принципова можливість термітного виплавлення термітних сталей, встановлено їх механічні властивості, мікроструктура. Дослідження цих термітних сталей показало, що мікроструктури їх більше дрібнозернисті порівняно із промисловими сплавами, а механічні властивості відрізняються підвищеною міцністю і пластичністю за рахунок мікролегування алюмінієм з шихти.

Розроблені склади термітних сумішей можна використовувати і в технології термітних ливарних додатків високого температурного градієнту.

1. Беляев А.И. Николай Николаевич Бекетов. – М.: Металлургиздат, 1953. – 137 с. 2. Фасонное литье из термитной стали / М.З. Золковер, А.С. Гридунов, С.О. Бильницкий-Бируля и др. – М.: Дориздат, 1950. – 48 с. 3. Мигай В.П. Применение термических втулок для прибылей // Литейное производство. – 1957. – № 3. – С. 23–24. 4. Новохацкий В.А., Жуков А.А., Приходной В.К. Способ изготовления прибыльной части литейной формы. – 1974. – № 36. – 24 с. 5. Жуков А.А., Новохацкий В.А., Жигуц Ю.Ю., Гольдштейн В.А. Термитные прибыли для питания отливок из высокопрочного чугуна // Литейное производство. – М., 1988. – № 7. – С. 32–33. 6. Жигуц Ю.Ю. Технология отримання корпусів кранів з бронз у результаті екзотермічних реакцій // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2004. – № 515. – С. 117–122. 7. Жигуц Ю.Ю. О некоторых особенностях легированных термитных сталей // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. тр. – Днепропетровск: GAUDEAMUS, 2000. – Вып. 10. – С. 134–138. 8. Жигуц Ю.Ю. Сірі і білі спеціальні термітні чавуни // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2003. – № 480. – С. 148–153. 9. Жигуц Ю.Ю. Ресорно-пружинні термітні сталі // Машинознавство. – Львів, 2002. – № 10. – С. 50–52.