

В. Д. Рудь¹
Л. М. Самчук¹
І. В. Савюк¹
Ю. С. Повстяна¹

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРМІТНИХ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ ОКСИДУ ЗАЛІЗА Fe_3O_4 ТА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТЕМПЕРАТУРИ ГОРІННЯ НА ПРИКЛАДІ ЗАЛІЗО-АЛЮМІНІЄВОГО ТЕРМІТУ

¹Луцький національний технічний університет

Проведено аналіз термітних сумішей на основі оксиду заліза Fe_3O_4 . Викладено методику розрахунку температури горіння залізо-алюмінієвого терміту, отримано залежність калорійності терміту і кількості теплоти реакції від складу, яка показує, що зі збільшенням кількості теплоти збільшується відсотковий вміст заліза в продуктах реакції.

Ключові слова: термітна суміш, оксид заліза, калорійність, зварювання.

Вступ

Термітами називаються порошкоподібні горючі суміші металів з оксидами металів, здатні згоряти з виділенням значної кількості тепла і розвивати при цьому досить високу температуру. Терміти застосовуються для виробництва деяких металів і сплавів та зварювання деталей.

Термітний спосіб зварювання викликає цікавість завдяки високій продуктивності процесу зварювання, зручності й універсальності оснащення, відсутності потреби у джерелах електроенергії та можливості застосування при терміновому зварюванні (час зварювання усього 30—60 с).

Важливою сферою застосування термітів є зварювання металів та отримання термітних швидкорізальних сталей. Горючими металами в термітних сумішах можуть бути метали з великою теплотою утворення оксиду, наприклад алюміній, магній, кремній (особливо аморфний). Джерелом кисню в термітних сумішах є оксиди металів з порівняно невеликою теплотою горіння, наприклад, оксиди заліза, марганцю, нікелю, міді. Як джерело кисню в зварювальних термітах зазвичай застосовується залізна окалина, що приблизно відповідає за хімічним складом окису-закису заліза Fe_3O_4 , що містить 27,6 % кисню і 72,4 % заліза [6].

Метою роботи є встановлення оптимального складу термітних сумішей на основі оксиду заліза для зварювання металів з подальшим визначенням температури їх горіння та чинників, що на неї впливають.

Викладення основного матеріалу

Відповідно від області застосування та марки горючого металу існує декілька класифікацій термітних сумішей: алюмінієвий терміт, магнієвий терміт [1]. Джерелом кисню в терміті являється оксид, а джерелом тепла (горючим) — метал, що входить в суміш в чистому вигляді. Необхідною умовою для одержання необхідного ефекту є те, що кількість тепла, що виділяється при згоранні горючого, повинна бути більшою, ніж необхідна для розкладу окису. Крім того, в терміт можна вводити легуючі елементи для покращення механічних властивостей термітного металу і металевий наповнювач — залізну обсічку — для збільшення виходу рідких продуктів термічної реакції (сталі). Згорання термітної суміші відбувається за температури не нижче 2500 °С [1].

Алюмінієвий терміт — це порошкоподібна механічна суміш металевого алюмінію (23 %) і залізної окалини (77 %). При нагріванні суміші до 1150...1200 °С за допомогою спеціальних запальних сумішей або термітних сірників терміт загоряється. Реакція за декілька секунд поширюється на весь об'єм суміші і відбувається за рівнянням [2]



Якщо спалити терміт у вогнетривкому тиглі, то після закінчення реакції горіння продукти термітної реакції — це рідка сталь і шлак, що складається головним чином з оксиду алюмінію, швидко розділяється на два шари: метал та шлак у відповідності до питомої ваги продуктів реакції; з 1 кг термітної суміші утворюється 550 г розплавленої сталі і 450 г шлаку — розплавленого оксиду алюмінію, і виділяється близько 3000 кДж теплоти. Температура реакції досягає 3000 °С [1].

Терміт з алюмінієвої пудри використовується в тих випадках коли необхідно виконати наплавку на додаткові частини чи деталі, а також при зварюванні рейкових стиків чи чавуну, а також крихких металічних сплавів.

Магнієвий терміт — це порошкоподібна суміш металевого магнію і залізної окалини. Згоряння цієї суміші відбувається за реакцією [1]



Характерною особливістю зварювання магнієвим термітом є те, що внаслідок високої температури плавлення оксиду магнію (2800 °С), яка перевищує температуру реакції (2500 °С), оксид магнію виділяється не в рідкому, а в твердому стані. Магнієвий терміт застосовується в основному для зварювання сталевих телеграфних і телефонних дротів повітряних ліній зв'язку. Для цієї мети його виготовляють у вигляді циліндричних шашок з осьовим каналом для пропуску дроту.

Визначення кількісного складу компонентів термітної суміші

Співвідношення складових частин терміту підбирається так, що при згорянні його виходить не розплавлена, а лише спечена пухка пориста маса. Ця маса, яка займає значний обсяг, вбирає в себе розплавлене залізо, що утворюється в результаті термітної реакції, причому значна частина заліза окислюється повітрям. Визначення кількісного складу компонентів термітної шихти здійснюється за методикою [7]



Молекулярна маса оксиду заліза ($m_a(\text{Fe}) = 55,83$ а.о.м.; $m_a(\text{O}) = 16$ а.о.м.)

$$m_m(\text{Fe}_3\text{O}_4) = m_a(\text{Fe}) \cdot 3 + m_a(\text{O}) \cdot 4, \quad (4)$$

$$m_m(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 55,85 \cdot 3 + 16 \cdot 4 = 167,55 + 64 = 233,55 \text{ а.о.м.}, \quad (5)$$

Молекулярна маса алюмінію збігається з його атомною масою:

$$(m_a(\text{Al}) = 26,97 \text{ а.о.м.}). \quad (6)$$

Розрахунок пропорцій:

$$\frac{3\text{Fe}_3\text{O}_4}{8\text{Al}} = \frac{3m_m(\text{Fe}_3\text{O}_4)}{8m_m(\text{Al})}, \quad (7)$$

$$\frac{3\text{Fe}_3\text{O}_4}{8\text{Al}} = \frac{3 \cdot 233,55}{8 \cdot 26,97} = \frac{700,65}{215,75} = \frac{3,247}{1} = \frac{76,45 \%}{23,54 \%}.$$

Таким чином, співвідношення компонентів термітної суміші, а саме Fe_3O_4 і Al , за масою становить 3:1 [7].

Методика розрахунку температури горіння залізо-алюмінієвого терміту

Для визначення температури реакції при постійному тиску використовують співвідношення [3]

$$Q_p = \Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT, \quad (8)$$

де Q_p — тепловий ефект реакції, ΔH — зміна ентальпії системи, C_p — ізобарна теплоємність продукту реакції, T_1 і T_2 — відповідно початкова та кінцева температура продуктів реакції. Зазвичай вважається $T_1 = 298,5$ К і проводиться розрахунок T_2 , яка і буде рівною адиабатичній температурі реакції.

Формула (8) справедлива, якщо в результаті реакції утворюється один продукт, однак, якщо продуктів декілька, то має бути врахований нагрів кожного з них. У випадку якщо відбуваються фазові переходи продуктів реакції (плавлення, випаровування), то кількість теплоти, затраченої на фазові переходи, також має бути врахована.

Розрахунок ускладнюється через зміну теплоємності продуктів реакції зі зміною температури [3]. Температурну залежність ізобарної теплоємності речовини описують таким виразом:

$$C_p = \sum_{\substack{j=-2 \\ j \neq -1}}^3 b_j T^j, \quad (9)$$

де b_j — коефіцієнти, що визначаються експериментально, T^j — температура.

Слід враховувати, що у різних інтервалах температур коефіцієнти можуть бути різними. Наприклад, при зміні температури заліза від 298 до 3343 К коефіцієнти b_j мають шість зон зміни [4].

В залежності від наявності того чи іншого оксиду заліза в окалині, можливі два рівняння термічних реакцій:



Теплові ефекти Q_1 , Q_2 можуть бути визначені виходячи із закону Гесса, відповідно до якого тепловий ефект реакції рівний сумі теплоти утворення реагентів та простих речовин [3]. Теплові ефекти рівні: $Q_1 = 853,7$ кДж/моль, $Q_2 = 859$ кДж/моль [4].

Також необхідно врахувати, що температура реакції може біти обмежена температурою фазового переходу при кипінні одного з компонентів [5].

Результати розрахунків, проведених за вищеописаною методикою, такі. Визначено, що зі збільшенням вмісту в окалині Fe_2O_3 збільшується калорійність терміту та зростає температура реакції. Якщо вміст в окалині Fe_2O_3 більше, ніж 18,2 %, то температура реакції обмежується температурою фазового переходу заліза, а саме температурою його кипіння, при цьому частина його переходить у газоподібну фазу. Графічні залежності калорійності терміту і надлишку теплоти реакції в залежності від співвідношення FeO та Fe_2O_3 в окалині показані на рис. 1. Під надлишком теплоти мається на увазі кількість теплоти яка витрачається на випаровування заліза.

Залежність температури реакції від складу залізної окалини наведена на рис. 2.

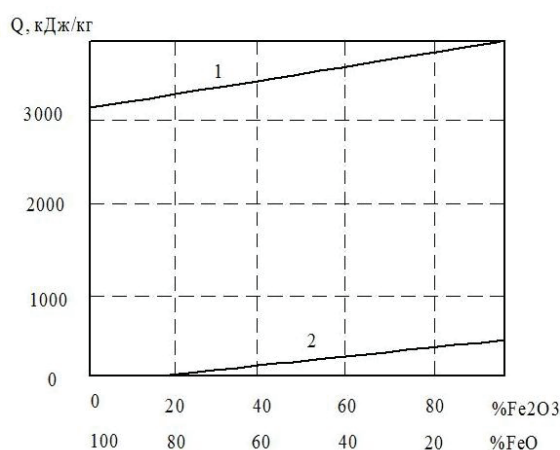


Рис. 1. Залежність калорійності терміту і кількості теплоти реакції від складу залізної окалини:
1 — калорійність терміту; 2 — кількість теплоти

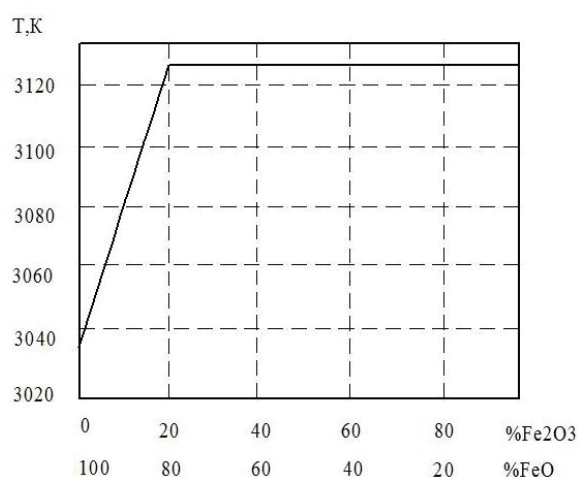


Рис. 2. Залежність температури термітної реакції від складу залізної окалини

Із залежності (рис. 1) видно, що зі збільшенням кількості теплоти збільшується відсотковий вміст заліза в продуктах реакції.

Із залежності (рис. 2) випливає, що оптимальний склад шихти відповідає розрахунковому.

Висновки

Проведено аналіз порошкових термітних матеріалів на основі оксиду заліза Fe_3O_4 з додаванням горючих металів. Визначено сфери їх застосування та чинники, що впливають на температуру їх горіння. Показано, що зі збільшенням в окалині вмісту заліза збільшується калорійність терміту, а отже і температура горіння. Однак, якщо вміст в окалині Fe_2O_3 більше, ніж 18,2 %, то температура реакції обмежується температурою фазового переходу заліза, а саме температурою його кипіння.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Яценко В. В. Термодинамические исследования горения железо-алюминиевого термита, Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки / В. В. Яценко, А. П. Амосов, А. Р. Самборук. — 2011, выпуск 2(23), 123—128.
2. Яценко В. В. Горение гранулированной железоалюминевой термитной смеси при получении железа и его композита с карбидом титана : автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук / В. В. Яценко. — Самара. — 2011. — 23 с.
3. Курс физической химии / [Герасимов Я. И., Древинг В. П., Еремин Е. Н., и др.]. — Т. 1. — М. : Химия, 1970. — 592 с.
4. Термодинамические свойства неорганических веществ [У. Д. Верятин, В. П. Маширев, Н. Г. Рябцев, Тарасов В. И., и др.]. — М. : Атомиздат, 1965. — 466 с.
5. Алехин О. С. Расчет адиабатической температуры горения ентальпийным методом : метод. указания. / Алехин О. С., Королев Д. В., Суворов А. К. — СПб. : СПбГТИ(ТУ). — 2011. — 18 с.
6. Малкин Б. В. Термитная сварка / Б. В. Малкин, А. А. Воробев. — М. : Изд-во коммунального хозяйства РСФСР, 1963. — 104 с.
7. Жигуц Ю. Ю. Технология получения термитной стали марки 70Л. / Ю. Ю. Жигуц. // Металургия. — 2014. — Вып. 1 (31).

Рекомендована кафедрою технології підвищення зносостійкості ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 6.07.2015

Рудь Віктор Дмитрович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри комп'ютерного проектування верстатів та технологій машинобудування;

Самчук Людмила Михайлівна — канд. техн. наук, старший викладач кафедри комп'ютерного проектування верстатів та технологій машинобудування;

Савюк Ігор Віталійович — аспірант кафедри комп'ютерного проектування верстатів та технологій машинобудування;

Повстяна Юлія Славомірівна — асистент кафедри комп'ютерних технологій, e-mail: yuliaspovstyana@ukr.net.

Луцький національний технічний університет, Луцьк

V. D. Rud¹
L. M. Samchuk¹
I. V. Saviuk¹
Yu. S. Povstiana¹

Description of thermite mixture on the basis of oxide of iron of Fe_3O_4 and methodology of burning temperature calculation on example of iron-aluminum thermit

¹Lutsk National Technical University

The analysis of thermite mixtures on the basis of oxide of iron of Fe_3O_4 have been presented in the paper. Methodology of calculation of burning temperature of iron-aluminum thermit have been brought, dependence of calorie content of thermit and amount of warmth of reaction from composition that shows that maintenance of iron increases in the products of reaction, has been presented in the paper.

Keywords: thermite, iron oxide, calories, welding.

Rud Victor D. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Computer Design of Tools and Engineering Technologies;

Samchuk Liudmyla M. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Lecturer of the Chair of Computer Design of Tools and Engineering Technologies;

Saviuk Ihor V. — Post-Graduate Student of the Chair of Computer Design of Tools and Engineering Technologies;

Povstiana Yuliia S. — Assistant of the Chair of Computer Technology, e-mail: yuliaspovstyana@ukr.net.

В. Д. Рудь¹
Л. М. Самчук¹
І. В. Савюк¹
Ю. С. Повстяна¹

Характеристика термитной смеси на основе оксида железа Fe_3O_4 и методика расчета температуры горения на примере железо-алюминиевого термита

¹Луцкий национальный технический университет

Приведен анализ термитных смесей на основе оксида железа Fe_3O_4 . Изложена методика расчета температуры горения железо-алюминиевого термита, получена зависимость калорийности термита и количества теплоты реакции от состава, которая показывает, что при увеличении количества теплоты увеличивается содержание железа в продуктах реакции.

Ключевые слова: Термитная смесь, оксид железа, калорийность, сварка.

Рудь Виктор Дмитриевич — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры компьютерного проектирования станков и технологий машиностроения;

Самчук Людмила Михайловна — канд. техн. наук, старший преподаватель профессор кафедры компьютерного проектирования станков и технологий машиностроения;

Савюк Игор Витальевич — аспирант профессор кафедры компьютерного проектирования станков и технологий машиностроения;

Повстяна Юлия Славомировна — ассистент кафедры компьютерных технологий, e-mail: yuliaspovstyana@ukr.net