

УДК 621.74.04:669.112.22

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

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕРМИТНОЙ СТАЛИ МАРКИ 70Л

*Ужгородский национальный университет*

У даній роботі досліджено термітну сталь 70Л. Виявлено особливості хімічного складу, фізичні та механічні властивості зазначеної сталі. Як результат окремого дослідження, виявлено змінювання механічних властивостей сталі 70Л за низької температури. Виконана робота дозволила встановити склад шихти для синтезу термітної сталі 70Л, розробити методику приготування металотермічної суміші та наступного синтезу сплаву.

Ключові слова: терміт, термітні сплави, металотермія, сталь 70Л, шихта, властивості

В данной работе исследована термитная сталь 70Л. Выявлены особенности химического состава, физические и механические свойства указанной стали. В результате отдельного исследования выявлено изменение механических свойств стали 70Л при низких температурах. Проведенная работа позволила установить состав шихты для синтеза термитной стали 70Л, разработать методику приготовления металлотермической смеси и последующего синтеза сплава.

Ключевые слова: термит, термитные сплавы, металлотермия, сталь 70Л, шихта, свойства

In this work is investigated thermite steel 70L. The peculiarities of chemical composition, physical and mechanical properties of thermite steel are studied. The change of mechanical properties of thermite steel 70L is studied by separate researches at subzero temperatures. The carried out work was allowed to ascertain composition of charge for the synthesis of thermite steel 70L, to work out the methods for preparation of metallothermy mixture and future synthesis of alloy.

Key words: thermite, thermite alloys, metallothermy, steel 70L, charge, properties

*Введение.* При работе мостовых кранов и их интенсивной эксплуатации нередко возникают проблемы, связанные с ремонтом, восстановлением изношенных геометрических размеров и завариванием отдельных дефектов ходовых колес. Особенно остро указанная проблема характерна для мостовых кранов большой грузоподъемности.

Возможность ремонта крупных деталей методами металлотермии всегда требует тщательного подхода, как к синтезу термитного материала, так и к установлению его свойств, структуры и технологических приемов, использующих методы термитной сварки и восстановления изношенных поверхностей деталей [1,2]. Именно эти жесткие требования вызывают необходимость установления свойств термитной стали марки 70Л, которую наиболее часто применяют для изготовления ответственных крупных деталей. Необходимо отметить, что области их эксплуатации охватывает территориальные зоны с низкими температурами, характерными для северных стран, Скандинавии и районов Полярного круга.

Как известно термитные методы синтеза имеют существенные преимущества, которые позволяют эффективно использовать их в условиях единичного и мелкосо-

рийного производства. Это, прежде всего, автономность процесса синтеза (отсутствие потребности в электроэнергии), простота и дешевизна технологического оборудования, высокая производительность (время синтеза длится от нескольких секунд до нескольких минут), возможность организации синтеза в неспециализированных мастерских и даже в полевых условиях [3-6]. Кроме перечисленного, обращает на себя внимание и возможность использования при компоновке металлотермической шихты отходов металлообрабатывающего и термического производств (железной окалины, помола алюминиевой стружки, помола огарков графитовых электродов, отсева пыли легированной стали из фильтров в литейных цехах и др.).

*Цель и постановка задачи исследования.* На сегодня улучшение свойств материалов достигается преимущественно использованием традиционных технологий их получения и последующей термической, химико-термической и других методов обработки. Но их высокая энергоемкость, необходимость сочетания нескольких технологических этапов, соблюдение экологических требований приводят к необходимости поиска других путей получения необходимых свойств материалов и синтезу новых материалов, иногда, с уникальными свойствами, которые позволяют избежать указанные недостатки. Одним из таких перспективных путей поиска технологий синтеза материалов может быть использование, предложенного в данной работе, теоретически разработанного и экспериментально обоснованного способа получения сталей с применением сильноэкзотермических реакций.

Таким образом, при изготовлении и для ремонта фасонных деталей из стали 70Л есть возможность использовать термитные методы, которые в последнее время находят все большее распространение.

*Исходные материалы и методика приготовления экзотермической смеси.* При компоновке металлотермической шихты были использованы следующие материалы: хром металлический, ГОСТ 5905-79; феррохром ФХ65-7А, ГОСТ 47570-79; силикокальций С40Л10, ГОСТ 4762-71; алюминий для раскисления и алюминотермии А-897, ГОСТ 295-79; силикомарганец СМн26, ГОСТ 4756-77; ферросилиций ФС65Ал3,5, ГОСТ 1415-78; порошок алюминиевый ПА-3-ПА-6, ГОСТ 6058-73; ферромарганец ФМн70, ГОСТ 4761-80; сажа ацетиленовая (технический углерод, ТУ 14-7-24-80) порошок титановый химический ПТХ-1, ТУ 48-10-78-83; порошок хрома ПХ-1, ТУ 14-1-14-77-75; железная окалина (кузнечного и прокатного производства) среднего химического состава (% по массе): 50...60 FeO; 40...50 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,10...0,35 Si; 0,10... 0,35 Mn; 0,05 C; 0,01...0,03 S; 0,01...0,03 P.

Для определения массы металлического слитка и выхода металла из шихты были выполнены микроплавки в металлотермическом реакторе диаметром 80 мм с различным процентным соотношением компонентов в смеси [7].

Процесс термитного синтеза заключается в компоновке из порошковых ингредиентов металлотермической шихты на основе реакции восстановления железа из окалины алюминием. Железную окалину подвергают предварительному просушиванию при температуре 150...200 °С, а при необходимости и прокаливанию при температуре 350...400 °С. Из исходных порошковых материалов – ингредиентов химической реакции – komponуют металлотермическую шихту. Шихту рассчитывали в несколько этапов. После установления адиабатической температуры горения, которая должна быть больше температуры разделения термитного сплава и шлаковой фазы, определяли состав смеси по стехиометрическим соотношениям компонентов реакции. На следующем этапе состав шихты корректировали коэффициентами усвоения ком-

понентов.

В состав шихты вводят легирующие элементы и углерод в виде помола графитовых электродов. После подготовки и перемешивания компонентов их помещали в футерованный металлотермическим реактор [7].

При инициировании реакции термитной спичкой происходит процесс горения, в результате которого образуется высокотемпературный расплав термитной стали 70Л. Адиабатическая температура горения металлотермической шихты с учетом дополнительных компонентов, которые улучшают процесс синтеза и шлакоотделения (полевой шпат  $CaF_2$ , просеянное битое стекло и др.), находилась в пределах 1450...1830 °С [3]. Жидкую термитную сталь в нижней части реактора можно использовать для изготовления фасонных отливок, а также для наплавки или термитной сварки [8-12].

*Методика термохимических расчетов.* После установления состава шихты по стехиометрическим коэффициентам химической реакции и коррекции ее коэффициентами усвоения компонентов шихты выполняли расчет адиабатической температуры горения [13]. При проведении расчетов по разработанным методикам не учитывали сублимацию алюминия, что дает несущественную погрешность при установлении адиабатической температуры ( $T_a$ ) и теплоты образования продуктов реакции ( $Q$ ). Основным критерий получения сплава – температура  $T_a$  – для всех реакций должна быть выше температуры плавления продуктов реакции ( $T_{пл}$ ). Расчет  $T_a$  не учитывает тепловые потери в процессе горения и полноту превращения реагентов в продукты реакции. По упрощенной схеме расчета  $T_a$  определяли без учета точных значений теплоемкостей, а тепловой эффект устанавливали при средней температуре (например, 2230 °С). Изменением теплового эффекта, при нахождении продуктов реакции в жидком состоянии можно пренебречь.

При соответствующих значениях энтальпий ( $\Delta T$ ) продукта горения  $T_a$  рассчитывали по формуле:

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

где  $C, L$  – соответственно теплоемкость и теплота продукта горения.

*Экспериментальные исследования.* В результате проведения экспериментальных плавок в опытно-промышленных условиях получили шесть отливок колес из термитной стали 70Л массой 50 кг. Химический состав синтезированной стали 70Л представлен в табл. 1.

**Таблица 1** – Химический состав термитной стали 70Л

Марка	Состав химических элементов, %						
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
				не более			
Сталь 70Л*	0,65...0,75	≤ 0,40	0,20...0,42	0,045	0,045	≤ 0,30	≤ 0,30
Термитная сталь 70Л	0,72	0,35	0,31	0,040	0,040	0,25	0,25

Примечание: \* сталь изготовлена по заводским техническим условиям

Результаты химического анализа синтезированной термитной стали показали несущественное отклонение ее состава от промышленной (табл. 1), что подтверждает правильность термохимических расчетов.

Механические испытания выполняли на клиновых пробах, вырезанных из экспериментальных литых заготовок. В результате исследования установлено, что механические свойства термитной стали 70Л (табл. 2) лучше свойств промышленной стали на 7...11 %. По-видимому, это связано с дораскислением термитной стали алюминием, который входит в состав шихты. Результаты химического анализа выявили следы алюминия в термитной стали в количестве 0,001...0,002 %.

**Таблица 2** – Механические свойства термитной стали 70Л

Марка	Толщина стенки, мм	$\delta_t$	$\delta_b$	$\delta$	$\psi$	$a_{НХ}$	НВ
		МПа		%		МДж	
Термитная сталь 70Л	до 100	350	600	10	18	19	250
Сталь 70Л*	до 100	280-320	470	10-12	14-17	-	280-380

Примечание: \* по заводским ТУ

Изучение литейных свойств термитной стали показало, что величина свободной усадки находится в пределах 1,8...2,3 % в зависимости от массы отливок. Выявлено также, что сталь 70Л мало склонна к образованию горячих трещин при проведении испытаний на П-образных пробах.

Отдельным направлением исследования было установление ударной вязкости термитной стали при низких температурах (табл. 3).

**Таблица 3** – Ударная вязкость термитной стали 70Л при низких температурах

Температура, °С	+20	0	-20	-40	-60
$a_n$ , МДж	19	19	16	14	12

Из табл. 3 следует, что ударная вязкость термитной стали существенно уменьшается (почти в 1,6 раза) при понижении температуры от +20 до -60 °С. Аналогичные данные для промышленных сталей приводят к уменьшению  $a_n$  почти в 2,1 раза при абсолютной величине их значений почти на 50 % меньше, а такие же сопоставления данных при температуре 60 °С – на 100 % меньше.

Перспективным является продолжение данных исследований при исследовании свойств термитных швов и при наплавлении стали на металлическую основу.

*Выводы.*

1. В результате выполненных исследований установлены состав металлотермическим шихты для синтеза термитной стали 70Л и особенности химического состава синтезированной термитной стали 70Л.

2. Разработана технология термитного синтеза сплава и получены отливки колес из стали 70Л.

3. Исследованы механические и некоторые технологические свойства термитные стали. При этом установлено, что механические свойства ее на 7...11 % лучше, а литейные свойства не хуже, чем у промышленного аналога. Исследованиями ударной вязкости термитной стали при низких температурах выявлено, что ее значения на 50...100 % выше, чем у одинарного промышленного сплава.

4. Выявлены перспективные направления продолжения исследования термитной стали и области ее наиболее целесообразного применения.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ

1. Фасонное литье из термитной стали [Текст] / М. З. Золковер, А. С. Гридунов, С. О. Бируля-Быльницкий и др. : под ред. М. З. Золковера. – М. : Дориздат, 1950. – 48 с. – Библиогр. : с. 47.
2. Жигуц, Ю. Ресурсозберігаюча технологія термітного зварювання сталевих деталей [Текст] / Ю. Жигуц, В. Лазар // Вісник ТДТУ. – Тернопіль : ТДТУ, 2009. – Т. 14, № 4. – С. 94-98.
3. Жигуц, Ю. Ю. Сплави, синтезовані металотермією і СВС-процесами [Текст] : монографія / Ю. Ю. Жигуц. – Ужгород : Гражда, 2008. – 276 с. – Бібліогр. : с. 253-276.
4. Zhiguts, Yu. Special thermite cast irons [Text] / Yu. Zhiguts, I. Kurytnik // Archives of foundry engineering. Polish Academy of Sciences. – 2008. – Vol. 8, No 2. – P. 162-166.
5. Zhiguts, Yu. Špeciálnatermitovaliatina [Text] / Yu. Zhiguts // Výrobnéinžinierstvo. Košice. – 2007. – R. 6, No 2. – S. 45-48.
6. 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.
7. Металотермічний реактор [Текст] : Пат. 20045 Україна: МПК В22С9/00. / Жигуц Ю. Ю., Скиба Ю. Ю., Крайній І. І. заявник і патентовласник Ужгородський нац. ун-тет. – № u200606530; заяв. 13.06.2006; опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1.
8. Жигуц, Ю. Ю. Синтез термітної сталі 35Л [Текст] / Ю. Ю. Жигуц, В. Ф. Лазар, Л. І. Косюк // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій : збірник наук. праць. – Львів : Каменяр. 2012. – Вип. 9. – С. 215–221.
9. 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.
10. Жигуц, Ю. Ю. Использование термитных высоколегированных сталей для питания отливок [Текст] / Ю. Ю. Жигуц // Металлургия машиностроения. – 2007. – № 5. – С. 5-9.
11. 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.
12. Жигуц Ю. Ю. Термітне зварювання високомарганцевих сталей [Текст] / Ю. Ю. Жигуц // Сварщик. – 2007. – № 5. – С. 14-16.
13. Жигуц, Ю. Методика розрахунку складу екзотермічних шихт на основі термохімічного аналізу / Ю. Жигуц, В. Широков // Машинознавство. – 2005. – № 4. – С. 48-50.

Стаття надійшла до редакції 30.12.2013 р.  
Рецензент, проф. В.Р. Козубовський

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука  
<http://www.zgia.zp.ua>