

УДК 620.22:669.017

Ю.Ю. Жигуц ⁽¹⁾, зав. кафедри, д.т.н., проф.Б.Я. Хомяк ⁽²⁾, зав. кафедри, к.ф.-м.н., доцент.

ОСОБЛИВОСТІ ТЕРМІТНИХ СТАЛЕЙ, ЛЕГОВАНИХ НІКЕЛЕМ ТА ХРОМОМ

⁽¹⁾ Ужгородський національний університет,⁽²⁾ Мукачівський державний університет

Исследованы термитные хромоникелевые стали. Построены изотермические разрезы тройных Fe-Ni-Cr термитных сталей в диапазоне температур 500...1100 °С. Выявлены особенности химического состава, структуры, а также механические свойства термитной стали. Отдельным исследованием определена зависимость механических свойств термитной стали от температуры. Выполненная работа позволила установить состав шихты для синтеза термитных хромоникелевых сталей, разработать методику приготовления металлотермической смеси и синтеза сплава, а также выявить влияние легирующих элементов, таких как хром и никель, на состав синтезированного сплава.

Ключевые слова: металлотермия, синтез, термитные стали, свойства, структура, легированные стали

Досліджено термітні хромонікелеві сталі. Побудовано ізотермічні розрізи потрійних Fe-Ni-Cr термітних сталей у діапазоні температури 500...1100 °С. Виявлено особливості хімічного складу, структури, а також механічні властивості термітної сталі. Окремим дослідженням визначено залежність механічних властивостей термітної сталі від температури. Виконана робота дозволила встановити склад шихти для синтезу термітних хромонікелевих сталей, розробити методику приготування металотермічної суміші та синтезу сплаву, а також виявити вплив легуючих елементів, таких як хром і нікель, на склад синтезованого сплаву.

Ключові слова: металотермія, синтез, термітні сталі, властивості, структура, леговані сталі

There are investigated the termite chromium-nickel steels. There are build isothermal sections of the ternary Fe-Ni-Cr termite steels in the temperature range 500...1100 °C. There are features the chemical composition, structure and mechanical properties of the termite steel. By a separate investigation it is determinates the dependence of the me-chanical properties of termite steel from temperature. Realized work has allowed to es-tablish the composition of the charge for the synthesis of termite chromium nickel steel to develop a method for the preparation of metallothermic mixture for synthesis of the alloy, as well as to reveal the influence of alloying elements, such as chromium and nickel, on the composition of synthesized alloy.

Key words: metallothermy, synthesis, termite steels, properties, structure, alloyed steels.

Вступ. Термітні сталі, які леговані нікелем і хромом, знаходять все більше поширення у різних галузях промисловості, насамперед, у зв'язку з особливими властивостями, а саме високою корозійною стійкістю, окалиностійкістю, задовільною міцністю, пластичністю, підвищеними механічними властивостями за високої температури та задовільною зварюваністю. У поєднанні із перевагами металотермічного методу з'являються значні перспективи використання високоперегрітого розплаву для технологій термітного синтезу.

Металотермічні методи дозволяють одержувати розплав за відсутності джерел електроенергії, складного обладнання для традиційного плавлення сплаву та його заливання, без застосування вакуумних пристроїв для проведення процесу синтезу, забезпечуючи високу продуктивність та швидкість технологічного циклу [1-7]. У найпростішому варіанті за допомогою ме-

талотермії синтезують сплав у футерованому ливарному ковші.

Не в останню чергу звертають зараз увагу на металотермічні методи і через те, що вони надають можливість використовувати відходи термічного, ливарного та металорізального виробництва (залізну окалину, мливу алюмінієвої стружки, відсівання лігатури, пил з повітряних фільтрів у ливарних цехах, мливу недопалених частин графітових електродів та ін.). Важливо відмітити, що термітний сплав можна використовувати не лише для одержання виливків, але і для здійснення термітного зварювання, виконання екстрених ремонтних робіт, металотермічного обігрівання ливарних додавань тощо [1,7-9]. Таким чином, термітні хромонікелеві сталі спричинюють інтерес для дослідження не тільки з наукової точки зору, але з метою всебічного практичного їх використання за виробничих умов.

Мета роботи. Встановити вплив легування нікелем та хромом на структуру та властивості термітної хромонікелевої сталі.

Завдання роботи. Комплекс завдань для досягнення мети роботи складається з виявлення за допомогою ізотермічних розрізів структури термітної сталі, легованої нікелем та хромом, встановлення впливу температури на фазовий розподіл та структуру потрійного *Fe-Cr-Ni* термітного сплаву, дослідження механічних властивостей та виявлення впливу температури на механічні властивості термітного сплаву.

Матеріали та методика металотермічного синтезу термітних сталей. Для компонування металотермічної шихти використовували порошок алюмінію марок ПА-3–ПА-4 ГОСТ 6058-73 (або просіяне млино 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 та прокатного виробництва) із середнім хімічним складом (% за масою): 50...60 *FeO*; 40...50 *Fe₂O₃*; 0,10...0,35 *Si*; 0,10...0,5 *Mn*; 0,05 *C*; 0,01...0,03 *S*; 0,01...0,03 *P*.

Порошкову шихту для синтезу просушували за температури 150...180 °С, змішували, а після цього розмішували й ущільнювали у металотермічному реакторі [10] діаметром 80 мм з різним процентним співвідношенням компонентів у суміші. Для визначення маси металевого зливка та виходу сплаву з шихти було виконано мікроплавлення. Ініціювання процесу горіння виконували спеціальним запалом, виготовленим з титанового порошку.

У дослідженнях використовували порошкові інгредієнти металотермічних шихт, частку з яких виготовляли з відходів ливарного, ковальського та металорізального виробництва (залізна окалина, просіяне млино графітових електродів, млино алюмінієвої стружки та ін.). Шихту попередньо розраховували за стехіометричним співвідношенням компонентів реакції [11], а у подальшому враховували засвоєння окремих компонентів за допомогою відповідних коефіцієнтів.

Після синтезу відділяли сплав від шлаку, оцінюючи структуру шлаку, виконували контрольне зважування та визначали величини виходу сплаву з шихти, а також досліджували синтезований зливкок.

Теоретичні та експериментальні дослідження. Аналіз літературних та експериментальних даних [1,3,5] показав, що ефективність впливу легуючого елементу нікелю суттєво залежить від вмісту хрому у термітній сталі. Характерним є також те, що під час додавання 2...4 % нікелю до термітної сталі із вмістом 10...14 % хрому одержували мартенситну структуру та, як наслідок, зменшення критичної швидкості охолодження сталі та збільшення її схильності до гартування.

Із збільшенням вмісту нікелю у термітній сталі відмічено зменшення її схильності до гартування разом із зменшенням інтенсивності мартенситних перетворень. При цьому точка початку та кінця мартенситних перетворень зміщувалася в область менших температур. Збільшення ж вмісту нікелю до 10...13 % призводить до утворення у структурі стійкого аустеніту. Встановлено, що за вмістом хрому у термітних сталях більше ніж 13 % (наприклад у термітних аналогах промислових сталей X19, X22Т, X27, X28) незначний вміст нікелю дозволяє одержати аустенітно-феритну структуру.

Глибокий подальший експериментальний аналіз трейф з термітних сталей дозволив побудувати ізотермічні розрізи потрійних діаграм стану *Fe-Cr-Ni* за температури 500 °С (рис. 1,а), 800 °С (рис. 1,б), 950 °С (рис. 1,в) та температури 1100 °С (рис. 1,г). Для всіх термітних сплавів виявлено мікроструктуру, яка складається з однофазних областей або змішаних твердих розчинів $\alpha + \gamma$. Проте в окремих областях діаграми *Fe-Cr-Ni*, окрім фаз фериту та аустеніту, зустрічається і σ -фаза. Особливо значний її вміст спостерігають у термітних сталях типу X18Н9 та X18Н10Т.

Збільшення вмісту вуглецю у термітних сталях надає їм більшої міцності (σ_s) та умовної границі текучості за допуском на пластичну деформацію 0,2 % ($\sigma_{0,2}$), як показано на рис. 2. Одночасно із збільшенням вмісту вуглецю у термітних сталях відбувається зростання твердості (рис. 3,а) та зменшення ударної в'язкості a_n (рис. 3,б). Збільшення на понад 10 % твердості та на 12 % ударної в'язкості порівняно із промисловими марками сталей очевидно пов'язано із технологією одержання термітного сплаву та додатковим його дорозкисленням алюмінієм, що входить до складу металотермічної суміші. На підтвердження цього у досліджених термітних сталях виявлено сліди алюмінію у кількості 0,001...0,002 % за масою.

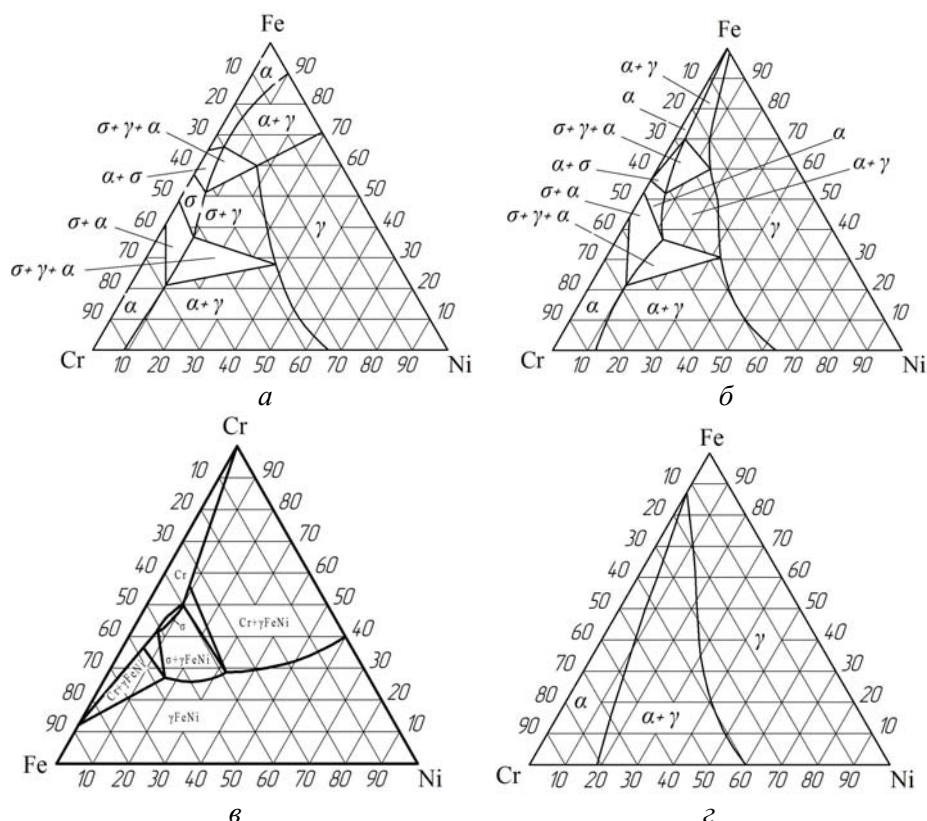


Рисунок 1 – Ізотермічні розрізи потрійних Fe-Ni-Cr термітних сталей за різної температури:
а - 500 °C, б - 800 °C, в - 950 °C, г - 1100 °C

Термічна обробка у вигляді нормалізації з нагріванням до температури 1100 °C та охолодженням на повітрі стабілізує однорідний аустеніт і надає термітній сталі додаткової пластичності та збільшує корозійну стійкість, що встановлено окремими дослідженнями [2,5]. За наявності у термітній сталі понад 20 % хрому або інших феритоутворюючих легуючих елементів (таких як *Si*, *Mo*, *Ti*, *Nb*) кількість нікелю для одержання аустенітної структури збільшують на 3...5 %.

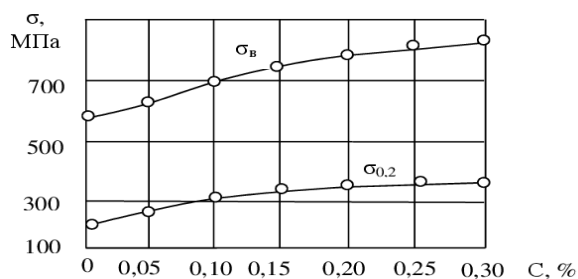


Рисунок 2 – Залежність міцності (σ_b) та границі текучості за допуском на пластичну деформацію 0,2 % ($\sigma_{0.2}$) від вмісту вуглецю у термітній сталі

Надалі результатом дослідження стало встановлення впливу нікелю та хрому на положення мартенситної точки у термітній сталі. По мірі

зростання вмісту нікелю у термітній сталі температура мартенситної точки, як і очікувалося, зменшується (рис. 4). Збільшення вмісту хрому так само призводить до суттєвого зниження точки початку мартенситного перетворення.

Для термітних сталей, які є аналогами промислових сталей X17N13M2T та X17N13M3T, виявлено, що молібден сприяє збільшенню кількості феритної фази та незважаючи на це термітні сталі, леговані молібденом, більше ніж хромо-нікелеві є схильними до окрипчування, особливо під час нагрівання до температури 650...750 °C, що є результатом створення у структурі σ -фази.

Відмічено, що у термітній сталі типу X18N10 молібден кількістю до 3 % незначно зменшує корозійну стійкість у агресивному середовищі азотної кислоти. Зменшення ж вмісту вуглецю у термітній сталі зазначеної марки надає їй більшої корозійної стійкості, сприяючи зростанню опору міжкристалічній корозії як результат усунення з структури карбідних і карбонітридних сполук, та збільшує пластичність й покращує зварюваність. Це особливо важливо під час виготовлення з термітної сталі де-талей машин та апаратури, які працюють за важких та особливо важких умов.

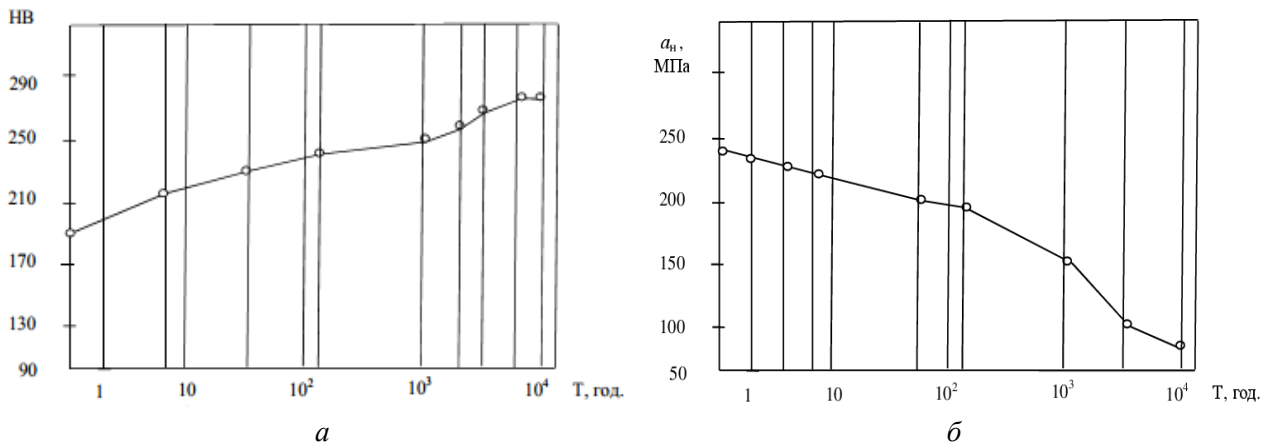


Рисунок 3 – Залежність твердості (а) та ударної в'язкості (б) від тривалості нагрівання термітної сталі X18Ni10T

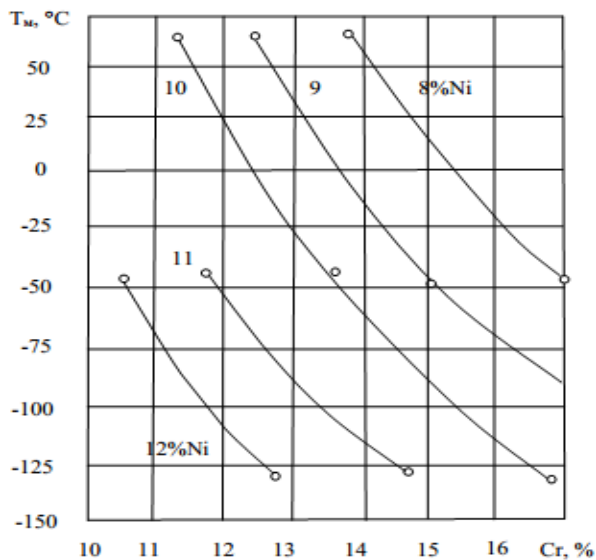


Рисунок 4 – Вплив нікелю та хрому на положення мартенситної точки (T_m) у термітній сталі

Дослідження впливу нікелю та хрому на структуру термітної сталі дозволило вивести формули для розрахунку компенсації зазначених елементів за рахунок інших легуючих елементів. Так, для компенсації легуючих елементів нікелю та хрому встановлено, що їх вплив можна відновити відповідно за еквівалентами нікелю E_{Ni} та хрому E_{Cr} й обчислити необхідний вміст ін-

ших легуючих елементів за допомогою формул (1) та (2):

$$E_{Ni} = C_{Ni} + 32C_C + 0,9C_{Mn}, \quad (1)$$

$$E_{Cr} = C_{Cr} + C_{Mo} + 1,9C_{Si} + 0,9C_{Nb}, \quad (2)$$

де C_{Ni} , C_C , C_{Mn} – концентрація відповідно нікелю, хрому, вуглецю та марганцю у термітній сталі, % за масою; C_{Cr} , C_{Mo} , C_{Si} , C_{Nb} – концентрація у термітній сталі хрому, молібдену, кремнію та ніобію, відповідно, %.

Висновки. Розроблено технології синтезу термітних хромонікелевих сталей. Встановлені механічні властивості зазначених марок сталей та вплив на них температури вказують на те, що досліджені термітні сталі можуть успішно замінити промислові марки. Виявлено вплив нікелю та хрому на структуру термітної сталі. Встановлено залежність твердості та ударної в'язкості термітної сталі X18Ni10T від тривалості нагрівання. Виявлено вплив нікелю та хрому на температуру початку мартенситного перетворення у термітних хромонікелевих сталях. Розроблено методику розрахунку концентрації легуючих елементів для компенсації у термітних сталях нікелю та хрому іншими легуючими елементами. Встановлено діаграму структурних змін у термітних хромонікелевих сталей.

Бібліографічний список

1. Жигуц, Ю. Ю. Технології отримання та особливості сплавів синтезованих комбінованими процесами [Текст] / Ю. Ю. Жигуц, В. Ф. Лазар. – Ужгород : Інватор, 2014. – 388 с. – Бібліогр.: с. 386-388. – 300 прим. – ISBN 978-966-8924-77-4.
2. Жигуц, Ю. Ю. Технологія отримання термітних суднобудівних сталей [Текст] / Ю. Ю. Жигуц // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. Збірник наукових праць. – 2012. – № 3 (28). – С. 283-286. – Бібліогр.: с. 286.

3. **Жигуц, Ю. Ю.** Термітні ливарні нержавіючі сталі аустенітно-феритного класу [Текст] / Ю. Ю. Жигуц // Вісник Сумського державного університету. Серія : Технічні науки. – 2013. – № 1. – С. 120-124. – Библиогр.: с. 124.
4. **Жигуц, Ю. Ю.** Синтез термітних теплостійких і жароміцних сталей [Текст] / Ю. Ю. Жи-гуц // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 3/5 (63). – С. 46-50. – Библиогр.: с. 50.
5. **Жигуц, Ю. Ю.** Технологія синтезу хромомарганцевонікелевої термітної сталі Х14Г14Н3Т [Текст] / Ю. Ю. Жигуц // Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка (галузеве машинобудування, будівництво). – 2013. – № 2 (37). – С. 111-114. – Библиогр.: с. 114.
6. **Жигуц, Ю. Ю.** Технологія синтезу термітних жароміцних сталей з карбідним зміцненням [Текст] / Ю. Ю. Жигуц, Д. Ф. Чернега, В. В. Широков, В. Ю. Талабірчук // Вісник національного університету «Львівська політехніка». Серія : Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2013. – № 772. – С. 21-26. – Библиогр.: с. 26.
7. **Жигуц, Ю. Ю.** Особливості синтезу термітної сталі 35Л та її властивості [електр. видання] / Ю. Ю. Жигуц, В. В. Широков // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : збірник наукових праць. – 2013. – № 2 (12Е). – С. 12-16. – Режим доступу до журн. : \www/ URL: http://dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik_2013/nomer_2014.html/ – Загл. с екрана.
8. **Жигуц, Ю.** Ресурсозберігаюча технологія термітного зварювання сталевих деталей [Текст] / Ю. Жигуц, В. Лазар // Вісник ТДТУ. – 2009. – Т. 14, № 4. – С. 94-98. – Библиогр.: с. 98.
9. **Жигуц, Ю. Ю.** Использование термитных высоколегированных сталей для питания от-ливок [Текст] / Ю. Ю. Жигуц, Д. Ф. Чернега, Й. Й. Лучко // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій : збірник наук. праць. – 2012. – № 9. – С. 279-285. – Библиогр.: с. 285.
10. **Пат. 20045 Україна, МПК В22С9/00.** Металотермічний реактор [Текст] / Ю. Ю. Жигуц, Ю. Ю. Скиба, І. І. Крайняй / патентовласник Ужгородський національний університет. – № u200606530. заяв. 13.06.06; опубл. 15.01.07, Бюл. № 1.
11. **Жигуц, Ю.** Методика розрахунку складу екзотермічних шихт на основі термохімічного аналізу [Текст] / Ю. Жигуц, В. Широков // Машинознавство. – 2005. – № 4. – С. 48-50. – Библиогр.: с. 50.

Стаття надійшла до редакції 19.10.2015 р.

Рецензент, проф. В.Г. Коцубовський

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука

<http://www.zgia.zp.ua>