

ФИЗИКА ПРОЧНОСТИ И ПЛАСТИЧНОСТИ

PACS numbers: 52.77.Fv, 61.66.Dk, 62.20.Qr, 81.05.Vx, 81.40.Ef, 81.40.Pq

Дослідження впливу титану на утворення зносостійкого сплаву

О. Й. Любич, Т. П. Говорун, С. В. Марченко, І. О. Варуха

*Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2,
40007 Суми, Україна*

Експериментально досліджено вплив вуглецю, титану, мангану та кремнію на утворення зносостійкої структури з мартенситної матриці і до 15% карбідів титану, що забезпечило високу стійкість деталей, які працюють за умов абразивного зношування.

Експериментально исследовано влияние углерода, титана, марганца и кремния на образование износостойкой структуры из мартенситной матрицы и до 15% карбидов титана, что обеспечило высокую стойкость деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания.

The carbon, titanium, manganese, and silicon influence on the formation of wear-resistant structure composed of martensitic matrix and up to 15% titanium carbides is experimentally investigated. This structure ensures a high resistance of parts operating under different conditions of abrasive wear.

Ключові слова: зносостійкий сплав, мартенситна структура, карбіди титану, електроди, зношування, термодинамічний аналіз, енергія Гіббса.

(Отримано 27 грудня 2012 р.; остаточн. варіант — 28 травня 2013 р.)

1. ВСТУП

Однією з найважливіших проблем у процесі експлуатації машин та механізмів є боротьба зі зношуванням, яке є головним чинником, що обмежує термін їх експлуатації. Для підвищення моторесурсів машин та механізмів розроблено багато різних зносостійких матеріалів і методів зміцнення [1–3], але проблема залишилась. Одержання і застосування високоефективних матеріалів є одним зі способів вирішення проблеми підвищення довговічності виробів, зменшення витрат матеріалів на запасні частини та відновлення, ком-

плексного підвищення якості і надійності машин та механізмів. Для вирішення цієї проблеми в сплави на основі заліза вводять карбідотвірні елементи, такі як хром, бор, вольфрам, молібден, ванадій, ітрій, церій, титан та інші. Теоретичне обґрунтування вибору хімічних елементів і виконані попередні експериментальні роботи показали, що для одержання сплаву, стійкого в умовах абразивного зношування, необхідно застосовувати леґувальну систему вуглець–титан–кремній–манган з використанням електродів порожнистої конструкції [4].

2. ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЛЕґУВАННЯ C–Ti–Mn–Si ЗНОСОСТІЙКОГО СПЛАВУ

Температура розплавленого металу в будь-якій зварювальній ванні неоднакова і змінюється за її довжиною, шириною і глибиною. При цьому температура рідкого металу біля країв нерозплавленого або затверділого металу приблизно дорівнює його температурі плавлення. Поверхня ванни безпосередньо під джерелом (під найбільш нагрітою частиною полум'я або плямою дуги) і прилеглих до нього ділянках за вимірюваннями Л. І. Мальцева [5] досягає 2100°C. У ході переносу (його тривалість 0,01–0,05 с) крапля продовжує нагріватися газами дуги (їх температура 4500–8000°C) і її середня температура може підвищуватися [5]. Згідно з різними калориметричними вимірюваннями [5] температура крапель у дуговому проміжку при ручному зварюванні сталевими електродами становить 2100–2350°C, підвищуючись зі збільшенням сили і щільності струму в електроді. Температура крапель на високих режимах автоматичного зварювання під флюсом у момент переходу через дугу при зварюванні сталі може бути близькою до 2500°C. Температура крапель при зварюванні у вуглекислому газі при діаметрі електродних дротів 1,22 мм і рекомендованих режимах за силою струму з досліджень І. К. Походні [5] становить від 2350 до 2600°C, залежно від полярності дуги і щільності струму в електроді. Середня температура зварювальної ванни за режимів ручного зварювання, коли ванна менша, а частка перегрітого наплавляемого металу в ній більша, за вимірюваннями Д. Чіпмана і Н. Хрістенсена [5] становить 1900–2000°C. Таким чином, при дуговому зварюванні плавким електродом перегрівання металу є набагато більшим за температуру плавлення, причому середня температура крапель металу на 500–800°C вища за середню температуру металу в зварювальній ванні.

Утворення в наплавленому металі карбідів, нітридів, силіцидів і т.д. залежить від активності хімічних елементів, тобто визначається значеннями вільної енергії Гіббса відповідних реакцій. При аналізі термодинамічної системи леґування C–Ti–Mn–Si ми розгляда-

ли утворення карбідів і оксидів елементів у межах температур від 1000 до 3000 К.

Енергія Гіббса для реакцій утворення карбідів і оксидів при взаємодії елементів з вуглецем і киснем залежить від температури, при якій відбуваються ці реакції (рис. 1).

За спорідненістю до вуглецю, що зменшується, розглянуті елементи можна розташувати в наступній послідовності: за температури 1000 К — титан (175 кДж/г·атом), манган (100 кДж/г·атом), кремній (75 кДж/г·атом), а за температури 3000 К — титан (140 кДж/г·атом), манган (25 кДж/г·атом) і кремній (20 кДж/г·атом). За активністю до кисню розглянуті елементи можна розташувати в наступній послідовності: за температури 1000 К — титан (420 кДж/г·атом), кремній (360 кДж/г·атом), манган (315 кДж/г·атом), а за температури 3000 К — титан (260 кДж/г·атом), кремній (210 кДж/г·атом) і манган (110 кДж/г·атом). Таким чином, утворення карбідів і оксидів титану, мангану та кремнію можливе у всьому розглянутому діапазоні температур.

Однак, перехід титану зі зварювальних матеріалів у необхідній кількості в наплавлений метал супроводжується значними труднощами. Це пов'язано з великою спорідненістю до неметалічних елементів і, в першу чергу, до вуглецю і кисню. При аналізі спорідненості титану до вуглецю та кисню встановлено, що енергія Гіббса реакцій утворення оксидів титану за температури 1000 К становить 422,8 кДж/г·атом, а за 3000 К — 260,2 кДж/г·атом. При утворенні карбідів титану енергія Гіббса складає за температури 1000 К — 172,3 кДж/г·атом, а за 3000 К — 137,9 кДж/г·атом. Звідси видно, що в межах розглянутих нами температур активність титану до ки-

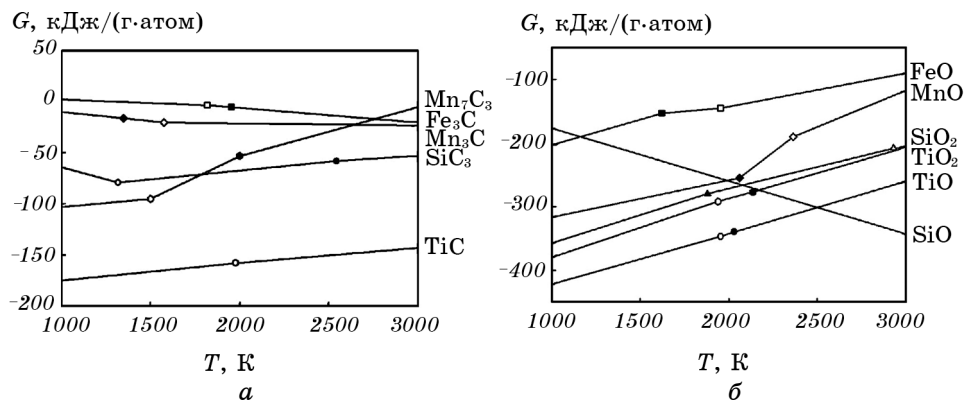


Рис. 1. Залежність термодинамічного потенціалу Гіббса (G) реакцій утворення карбідів (a) і оксидів (b) від температури (T): темні маркери (●) — фазовий перехід хімічної сполуки, світлі маркери (○) — фазовий перехід елемента.

сню більша, ніж до вуглецю. Тому титан при переплаві шихтових матеріалів у першу чергу може утворювати сполуки з киснем, а вже потім з вуглецем.

Через те, що до складу шихти електродних матеріалів у різних сполуках вводиться кремній, то він при розплавленні може з'єднуватися з іншими елементами та утворювати силіциди. Зіставлення термодинамічних величин показало, що з ростом температур відбувається зменшення ізобарно-ізотермічного потенціалу утворення силіцидів. Цьому відповідає зменшення ступеня спорідненості елементів до кремнію. За зменшуваної активності до кремнію розглянуті елементи можна розташувати в наступній послідовності: за температури 1000 К — титан, манган і вуглець, а за 3000 К — вуглець, манган і титан. Таким чином, зі збільшенням температури за силою спорідненості до кремнію на перше місце при температурі 3000 К переміщується вуглець. Отже, за таких умов може утворитися карбід кремнію, а потім при повільному охолодженні наплавленого металу може відбутися перехід його від вуглецю до мангану, що буде сприяти утворенню вільного вуглецю.

У електродних матеріалах, що містять вуглець, захист рідкого металу від впливу навколишнього середовища забезпечується, в основному, газоподібними продуктами згоряння. При виконанні термодинамічного аналізу досліджуваної технології електродугового переплавлення звернемо увагу на особливості зміни енергії Гіббса для реакції окиснення вуглецю. Для реакції повного окиснення вуглецю характерна значна зміна його активності, що пов'язано із величиною ізобарно-ізотермічного потенціалу, а для реакцій неповного окиснення характерно інтенсивне зменшення його активності зі зниженням температури. За температур, вищих 2000 К, активність вуглецю до кисню за реакції неповного окиснення більша, ніж у досліджуваних легувальних елементах. Це пов'язано з наступним: для утворення TiO_2 за температури 2500 К енергія Гіббса реакції окиснення становить близько 250 кДж/г·атом, а для реакції утворення оксиду вуглецю — 330 кДж/г·атом (рис. 1, б).

Виходячи з аналізу енергій Гіббса видно, що композиція шихти порожнистих електродів повинна містити стільки графіту, щоб упевнено підтримувати навколо зварювальної дуги над рідким металом захисну атмосферу з окису вуглецю. Це є необхідною умовою запобігання окисненню легувальних елементів.

Загальний аналіз термодинамічних величин показав, що при електродуговому переплавленні із застосуванням порожнистих електродів, що містять вуглець і кремній, малоімовірна поява елементів металів у вільному стані і їх перехід у наплавлений метал у такому стані. У той же час установлено, що незважаючи на те, що спорідненість ряду елементів до кремнію й вуглецю з ростом температур знижується, наявність цих сполук досить імовірна. Таким чином, через близькість енергій Гіббса утворення карбідів і силіци-

дів більшість елементів практично може переходити у виплавлений метал в обох формах. При зіставленні змін енергії Гіббса для низки хімічних реакцій нами встановлено, що зі збільшенням температури відбувається принципово важливий перерозподіл положення елементів у ряді їх сили спорідненості до кремнію та вуглецю.

Титан вирізняється серед розглянутих елементів тим, що може переходити у виплавлений метал тільки у формі карбіду. Аналіз енергій Гіббса показує, що титан має найвищу спорідненість до кремнію за 1000 К, а при 3000 К його спорідненість до кремнію стає меншою, ніж у заліза, мангану та вуглецю. Порівнюючи енергії Гіббса для утворення силіцидів і карбідів з енергією Гіббса окиснення цих елементів видно, що за достатньої кількості кисню кінцевим продуктом переплавлення можуть бути оксиди. Очевидно, що умовою утворення та стабільного існування карбідів і силіцидів є необхідність підтримки концентрації кисню в газовій фазі нижче рівноважної [6–8].

Для створення металу, стійкого в умовах абразивного зношування досить, щоб із засвоєнням у нанесеному металі таких елементів як кремній і манган, міг засвоїтися в достатній кількості і титан. Утворення карбідів титану можливо тільки в тому випадку, якщо він утворить сполуки з вуглецем на стадії краплеутворення. Чим більше буде в розплавленому металі карбідів титану, тим більше, відповідно, буде центрів кристалізації. Засвоєння в наплавленому металі вуглецю, кремнію, мангану та титану при швидкостях кристалізації і охолодження, що властиві зварювальним процесам, уможлиблює утворення виплавленого металу із мартенситною структурою і карбідами титану.

Для керування складом виплавленого металу важливо знати переваги існування силіцидів або карбідів при певних температурах. Це дозволить прогнозувати введення певної кількості легувальних елементів, виходячи зі складу основного матеріалу, і припустити можливість впливу швидкості кристалізації на кінцеву структуру та відповідно на властивості матеріалу.

При розробленні шихтових матеріалів для електродів порожнистої конструкції кількість вуглецю обмежували, зважаючи на необхідність одержання структури мартенситу і залишкового аустеніту з якомога меншою кількістю евтектики. Брався до уваги склад відомих доевтектичних зносостійких чавунів [1, 2, 9, 10], а також потреба в одержанні зміцнювальної надлишкової фази при взаємодії з титаном. Зважаючи на вище викладене, а також з вимог створення надійного захисту з окису вуглецю при електродуговому процесі без застосування стороннього захисного газу, вміст вуглецю в сплаві досліджували в межах від 2,4 до 4,0% мас.

Аналіз літературних джерел доводить, що титан не є широко розповсюдженим легувальним елементом у металах та сплавах, його вміст, зазвичай, не перевищує 1,2–1,5% [11, 12]. У системі з вуг-

лецем титан утворює карбід титану TiC (31,06–34,79 ГПа), який вигідно відрізняється мікротвердістю за карбіди, бориди хрому і поступається тільки деяким сполукам на основі бору. Титан дозволяє зсунути евтектоїдну точку S на діаграмі стану праворуч, зменшуючи кількість перліту [1].

Однією з перешкод при одержанні залізобуглецевих сплавів з підвищеним вмістом титану є фактори, пов'язані з активною взаємодією такого розплаву з газами і вогнетривкими матеріалами футеровки, що призводить до істотної втрати титану. За умов, що є в металургії, найбільш вірогіднішим є окиснення титану, хоча енергетичне підґрунтя цього дещо зменшується з підвищенням температури щодо проходження реакції з вуглецем.

Оскільки при електродуговому процесі, а саме при електродуговому переплавленні, стовп дуги має температуру $\cong 6000$ К, і краплі металу, що переносяться, мають температуру $\cong 3000$ К, то використання такого процесу найвірогідніше для одержання зносостійкого сплаву з вкрапленням у нього карбідів титану. Умовою переходу титану в метал є температура системи, що забезпечується електродуговим процесом. З метою одержання зміцнювальної фази на основі сполук титану, стійких до абразивного зношування, і, посилячись на виконане термодинамічне обґрунтування, титан досліджували в межах від 2,0 до 6,0% мас.

Манган гальмує виділення графіту, сприяє здрібненню перліту і відбілюванню чавуну та, взаємодіючи з сіркою, нейтралізує її шкідливу дію. Механічні властивості чавуну підвищуються при вмісті мангану до 0,7–1,3%, а при подальшому збільшенні — знижуються. Манган збільшує усадку сплаву. З підвищенням вмісту мангану зменшується частка фериту і збільшується кількість перліту, при цьому підвищується межа міцності при розтягуванні і зменшується відносне подовження. Для підвищення зносостійкості вміст мангану збільшують до 1,0–1,3%. Манган збільшує кількість зв'язаного вуглецю, підвищує міцність фериту. При підвищенні вмісту мангану до 0,8–1,4% збільшується кількість перліту, міцність сплаву підвищується, але стрімко падає пластичність і ударна в'язкість. У феритному чавуні вміст мангану не повинен перевищувати 0,6%, в перлітному — 1,0%. Зважаючи на викладене, вміст мангану в складі сплаву, стійкого в умовах абразивного зношування, було встановлено 0,8% мас.

Кремній (з урахуванням вмісту вуглецю) сприяє виділенню графіту і знижує твердість, а також зменшує усадку; підвищений вміст кремнію знижує пластичність і дещо збільшує твердість. З підвищенням вмісту кремнію зростає межа міцності при розтягуванні, при подальшому збільшенні вмісту — зменшується межа міцності при розтягуванні і відносне подовження. Вміст кремнію в залізобуглецевих сплавах не перевищує 0,35–0,4%. Кремній, дегазуючи метал, підвищує щільність злитка. Також кремній розчиняється у

фериті і підвищує міцність сталі, особливо збільшується межа плинності. Але спостерігається деяке зниження пластичності, що знижує здатність сталі до витягування. Для феритного ковкого чавуну сумарний вміст кремнію і вуглецю має бути 3,7–4,1%. Вміст кремнію залежить від кількості вуглецю. При кількості кремнію до 1,5% механічні властивості сплаву підвищуються. Зважаючи на вище викладене, кількість кремнію в сплаві обмежували до 2,0% мас.

Використання електродугового переплаву з електродами порожнистої конструкції дозволить одержати сплав з включеннями карбідів титану. Завдяки високій температурі електродугового процесу, що створює енергетичне підґрунтя для проходження реакції вуглецю з титаном, та ретельному газовому захисту електричної дуги і розплавленого металу, при застосуванні електродугового переплаву електродів порожнистої конструкції визначеного складу, електродуговий переплав є оптимальним способом для утворення титановмісного сплаву.

Наявність в одержаному електродуговим переплавленням металі вуглецю, кремнію, мангану та титану при швидкостях кристалізації і охолодження, які властиві зварювальним процесам, дає передумови утворенню металу з вкрапленнями карбідів титану. Окрім того, тугоплавкі карбіди титану в розплавленому металі будуть відігравати роль і центрів кристалізації, що позитивно відіб'ється на зернистості одержуваного металу.

3. МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ І РОЗРАХУНКУ ШИХТОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Для виконання експериментальних робіт були виготовленні електроди порожнистої конструкції. Оболонкою для таких електродів виступали труби з внутрішнім діаметром 74 мм, зовнішнім — 80 мм, довжиною 500 мм і виготовлені з чавуну СЧ 20. Для електродугового переплавлення використовували охолоджуваний водою кокіль з міді з внутрішнім діаметром 160 мм і висотою 150 мм. Розрахунок шихти в електродах порожнистої конструкції виконували з використанням наступних інгредієнтів: графіт електродний ГЭИ-1 (ГОСТ 17022-81), феротитан ФТи 30 (ГОСТ 4761-80), фероманган ФМн 70 (ГОСТ 4755-80) і силікокальцій СК-15 (ГОСТ 4762-71Е). Як баласт використовували залізний порошок марки ПЖВ-2 (ГОСТ 9849-87). Для визначення кількості інгредієнтів у складі шихти електродів порожнистої конструкції використовували методику, аналогічну наведеній в [13, 14].

Склад шихти розраховували за коефіцієнтом її заповнення ($K_{\text{зп}}$):

$$K_{\text{зп}} = 100Q_{\text{ш}} / (Q_e + Q_{\text{ш}}), \quad (1)$$

де $Q_{\text{ш}}$ і Q_e — маси в грамах відповідно шихти наповнювача і чавунної оболонки.

Так як $Q_{\text{ш}} = \gamma_{\text{ш}} V_{\text{ш}}$, а $Q_e = \gamma_e V_e$ (де $\gamma_{\text{ш}}$ — насипна маса шихти (г), γ_e — щільність чавуну ($\text{г}/\text{см}^3$), $V_{\text{ш}}$ — об'єм шихти (см^3), V_e — об'єм оболонки електрода (см^3)), то

$$K_{\text{зш}} = \frac{100}{1 + \frac{\gamma_e V_e}{\gamma_{\text{ш}} V_{\text{ш}}}}. \quad (2)$$

Оскільки

$$\frac{V_e}{V_{\text{ш}}} = \frac{S_e l}{S_{\text{ш}} l} = \frac{S_e}{S_{\text{ш}}},$$

де S_e і $S_{\text{ш}}$ — площі поперечних перерізів (см^2) оболонки і шихти відповідно, а l — довжина електрода (см), тому

$$K_{\text{зш}} = \frac{100}{1 + \frac{\gamma_e S_e}{\gamma_{\text{ш}} S_{\text{ш}}}}. \quad (3)$$

У цій формулі відношення

$$\frac{S_e}{S_{\text{ш}}} = \frac{D^2 - d^2}{d^2} = \frac{D^2}{d^2} - 1,$$

де D — зовнішній діаметр електрода (см), а d — внутрішній діаметр електрода (см), тоді

$$K_{\text{зш}} = \frac{100}{1 + \frac{\gamma_e}{\gamma_{\text{ш}}} \left(\frac{D^2}{d^2} - 1 \right)}. \quad (4)$$

З огляду на ступінь ущільнення шихти при набиванні електродів, формула (4) буде мати вигляд

$$K_{\text{зш}} = \frac{100}{1 + \frac{\gamma_e}{K_y \gamma_{\text{ш}}} \left(\frac{D^2}{d^2} - 1 \right)}. \quad (5)$$

Коефіцієнт ущільнення K_y залежить від внутрішнього діаметра електрода та знаходиться в межах 1,4–1,42.

Для d до 80 мм $K_y = 1,4$. Щільність чавуну — $\gamma_e = 7,5\text{--}7,9 \text{ г}/\text{см}^3$. Для розрахунку було вибрано середнє значення — $\gamma_e = 7,7 \text{ г}/\text{см}^3$. Підставляючи значення K_y і γ_e у формулу (5), одержуємо

$$K_{\text{зш}} = \frac{100}{1 + \frac{5,56}{\gamma_{\text{ш}}} \left(\frac{D^2}{d^2} - 1 \right)}. \quad (6)$$

Таким чином, маючи значення насипної маси шихти, розрахунок зводиться до визначення діаметра внутрішньої порожнини електрода, задаючи при цьому $K_{\text{зш}}$ і D . Маса шихти визначається за формулою

$$\gamma_{\text{ш}} = \frac{N_1 \gamma_1 + N_2 \gamma_2 + \dots + N_k \gamma_k}{100} = \frac{\sum_{i=1}^k N_i \gamma_i}{100}, \quad (7)$$

де N_i — частка i -го компоненту в шихті (%).

Розрахунок зручно вести за формулою (8), оскільки частка кожного інгредієнта задається програмою робіт:

$$\gamma_{\text{ш}} = \frac{n_1 \gamma_1 + n_2 \gamma_2 + \dots + n_k \gamma_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i \gamma_i}{\sum_{i=1}^k n_i}, \quad (8)$$

де n_i — частка i -го інгредієнта і визначається залежністю:

$$n_3 = K_{\text{зз}} - \sum_{i=1}^k \frac{n_i \gamma_i}{\gamma_3}, \quad (9)$$

де $K_{\text{зз}}$ — коефіцієнт заповнення залізного порошку.

Для розрахунку шихти застосовували порошки інгредієнтів, просіяних через сито з розміром комірки 0,056 мм (табл. 1).

Таким чином, схема розрахунку шихти електродів наступна:

– за формулою (8) орієнтовно визначаємо насипну масу шихти без обліку частки залізного порошку і порівнюємо з насипною ма-

ТАБЛИЦЯ 1. Насипні маси інгредієнтів.

Назва інгредієнтів	Грануляція	Насипна маса, г/см
Графіт кристалічний	0,40	0,64–0,70
Феротитан	0,40	3,90–4,00
Феросилікокальцій	0,40	2,00–2,10
Фероманган	0,40	4,80–4,90
Залізний порошок	0,40	2,60–2,80
Плавиківий шпат	0,40	1,20–1,40

сою залізного порошку. Якщо $\gamma_{\text{ш}} > \gamma_3$, то з виразу $\sum_{i=1}^k n_i \gamma_i / \gamma_3$, який дає попередній $K_{\text{зз}}$, вибираємо менше значення приблизно в стільки разів, у скільки $\gamma_{\text{ш}} > \gamma_3$ і навпаки;

- за одержаним попереднім значенням $K_{\text{зз}}$, з врахуванням поправки, згідно першого пункту, і зовнішнім діаметром електрода визначається внутрішній діаметр труби (ГОСТ 3262–75);
- за формулою (9) визначаємо частку залізного порошку;
- за формулою (8) уточнюємо насипну масу шихти;
- за формулою (6) визначаємо коефіцієнт заповнення шихти;
- знаючи $K_{\text{зз}}$, визначаємо масу шихти на один кілограм оболонки:

$$\sigma_{\text{шт}} = \frac{K_{\text{зш}}}{100 - K_{\text{зш}}} 100, \quad (10)$$

де $\sigma_{\text{шт}}$ — маса шихти в грамах на 1 кг чавунної оболонки;

- масу кожного інгредієнта в шихті визначали за формулою:

$$\sigma_i = \frac{N_i \sigma_{\text{шт}}}{100} = n_i \sigma_{\text{шт}} / \sum_{i=1}^k n_i, \quad (11)$$

де

$$N_i = n_i / \sum_{i=1}^k n_i.$$

Результати розрахунку наведено в табл. 2.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

З одержаних виливків брали стружку для визначення хімічного складу, а на вирізаних з них зразках виконували випробування на

ТАБЛИЦЯ 2. Результати розрахунків інгредієнтів шихти в електродах порожнистої конструкції.

Вміст інгредієнтів шихти, %					
№ п/п	Графіт	Феротитан	Фероманган	Феросиліко- кальцій	Залізний порошок
1	4,0	30,0	1,6	3,0	61,4
2	5,0	40,0	1,6	3,0	50,4
3	6,0	50,0	1,6	3,0	30,4
4	7,0	60,0	1,6	3,0	19,4
5	8,0	70,0	1,6	3,0	17,4

твердість і зносостійкість. Хімічним аналізом встановлено, що одержані методом електродугового переплавлення виливки № 1–5 в своєму складі містять вуглець у кількості 1,80–2,20, 2,30–2,70, 2,75–2,81, 2,90–3,00, 3,12–3,21% мас. відповідно і титан відповідно 2,00–2,20, 2,80–3,20, 3,58–3,62, 3,70–3,83, 3,94–4,11% мас.

Виконані дослідження щодо впливу титану і вуглецю на твердість і відносну стійкість одержаного металу до абразивного зношування показали, що зі збільшенням вуглецю в металевій матриці від 1,80 до 3,21% мас., а титану від 2,00 до 4,11% мас., твердість зразків змінювалась від HRC54 до HRC62, а зносостійкість порівняно зі зносостійким чавуном ЧХ 28 складала від 0,8 до 1,17.

Для дослідження структури і фазового складу зливок використовували рентгеноструктурний аналіз (рис. 2) та металографічні дослідження (рис. 3). Внаслідок виконаних на мікроскопі Neophot-2 металографічних досліджень визначено, що в структурі першого та другого зливку карбідів титану не виявлено карбідів титану, а в зливках № 3–5 зі збільшенням у складі шихти феротитану і графіту кількість карбідів титану збільшується (рис. 3). Крім того, зі збільшенням в одержаних зливках вуглецю до 3,21% мас. і титану до 4,11% мас., кількість карбідів титану збільшується до 15% від загальної площі шліфа. Внаслідок чого збільшується і твердість одержаного сплаву, а також його стійкість до абразивного зношування.

Для визначення наявності карбідної фази в злитку, одержаному шляхом переплаву електрода № 5, використовували рентгеноструктурний аналіз. Дифрактограму сплаву E300T4CG, одержаного методом електродугового переплаву електрода порожнистої конструкції № 5, наведено на рис. 2.

Порівняння результатів металографічного, рентгеноструктурно-

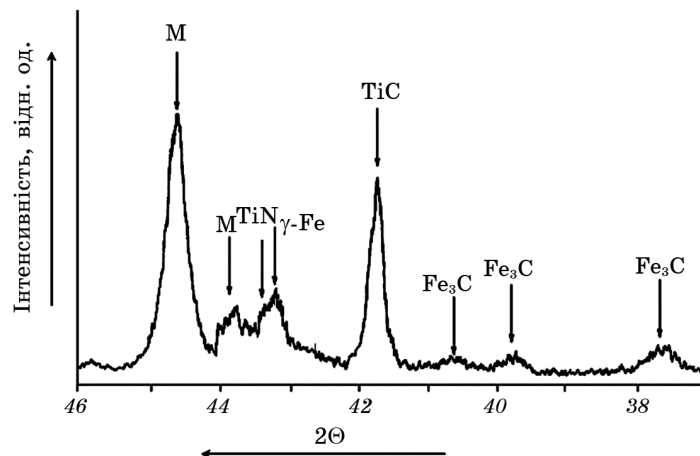


Рис. 2. Дифрактограма сплаву E300T4CG.

го аналізів і вимірювання твердості підтвердило, що наплавлений метал E300T4CG має в структурі мартенсит, залишковий аустеніт, карбіди заліза і карбіди титану.

Виплавлені електродуговим переплавом п'ятдесят кілограм литва з електродів порожнистої конструкції № 5 переплавили в індукційній печі.

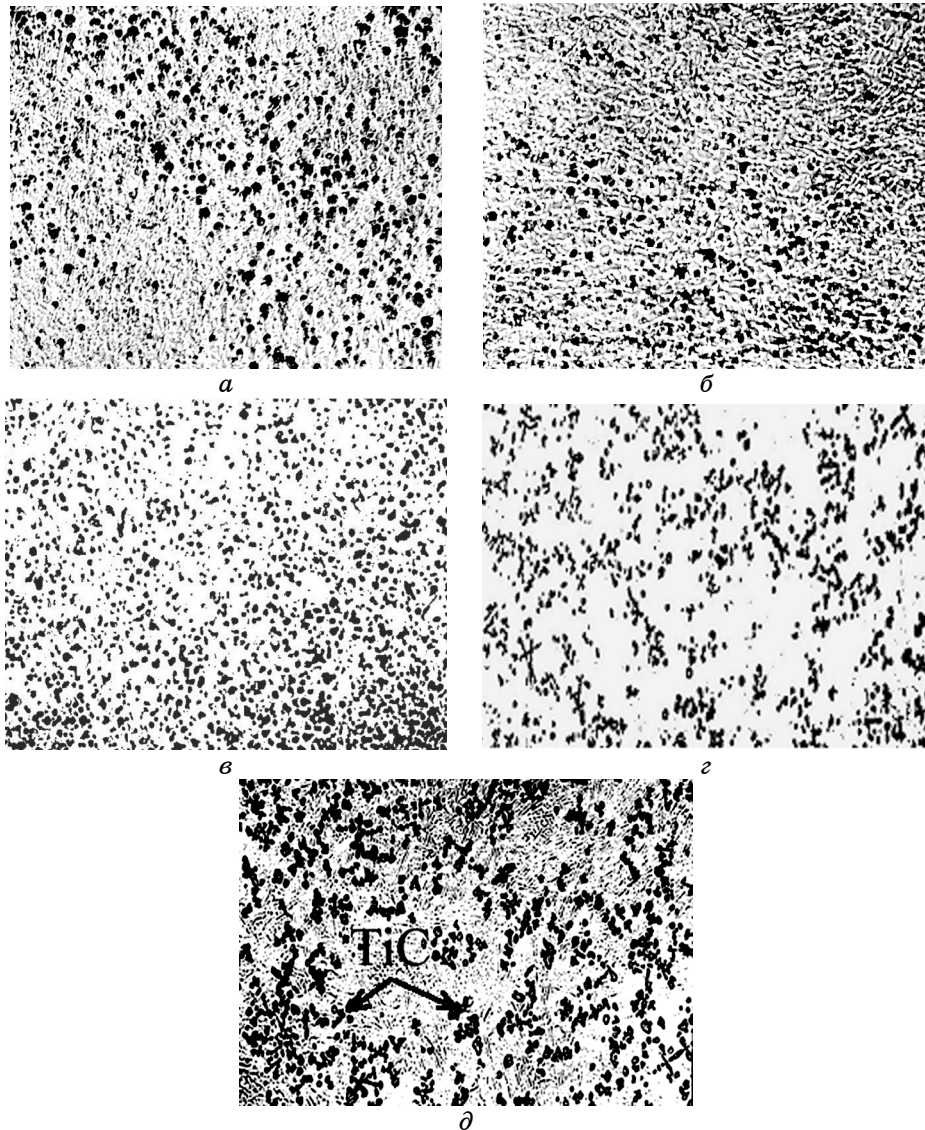


Рис. 3. Структура виплавленого сплаву електродами порожнистої конструкції: а — № 1, б — № 2, в — № 3, г — № 4, д — № 5 ($\times 200$).

Твердість, структура і хімічний склад одержаного переплаву відповідала зливкам, одержаним після переплавлення електрода порожнистої конструкції № 5. З одержаного сплаву виготовляли кільця сальникового ущільнення для насоса ОНЦ. Перед виготовленням деталей, для виплавлених в індукційній печі заготовок, робили високотемпературний відпал з нагріванням до 1000–1100°C. Після відпалювання одержаного сплаву твердість його знизилась до НРС 35–40. Виготовлені сальники гартувались, після чого твердість збільшувалась до НРС 61–63.

5. ВИСНОВКИ

У виконаній роботі обґрунтовано термодинамічну можливість і наведено технологію одержання зносостійкого сплаву з високим вмістом титану. Оскільки титан вступає в реакцію з вуглецем від 1000 К до 3000 К, то технологічно можливо перевести титан у сплав лише за умови електродугового переплавлення, зокрема, електродів порожнистої конструкції з шихтою визначеного складу.

Низка експериментальних робіт дозволила одержати оптимальний титановмісний сплав E300T4CG, який має, переважно, мартенситно-аустенітну матрицю з вкрапленнями до 15% (за зайнятою площею) карбідів титану, і в 1,2 рази перевищує за зносостійкістю сплав ЧХ28. Для підвищення якості сплаву він після електродугового процесу одержання переплавляється в індукційній печі.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. А. А. Жуков, Г. И. Сильман, М. С. Фрольцов, *Износостойкие отливки из комплекснолегированных белых чугунов* (Москва: Машиностроение: 1984).
2. Б. И. Вороненко, *Литейное производство*, 10: 8 (1993).
3. И. А. Толстов, М. И. Семиколенных, *Износостойкие наплавочные материалы и высокопроизводительные методы их обработки* (Москва: Машиностроение: 1992).
4. А. И. Любич, *Склад електрода, що витрачається* (Патент України № 20999, МКИ В 23 К 35/368, 27.02.1998) (Бюл. № 1, 1998).
5. Ю. В. Петров, А. С. Тумарев, *Теория сварочных процессов* (Москва: Высшая школа: 1977).
6. К. Е. Уикс, Ф. Е. Блок, *Термодинамические свойства 26 элементов, их окислов, галогенидов, карбидов и нитридов* (Москва: Металлургия: 1965).
7. А. И. Любич, *Вопросы механизации сельского хозяйства* (Харьков: ХГТУСХ: 1996), т. 1, с. 169.
8. О. В. Климов, С. В. Марченко, *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*, 1: 17 (2009).
9. А. Д. Шерман, А. А. Жуков, *Чугун (Справочник)* (Москва: Металлургия: 1990).
10. И. И. Цыпин, *Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства* (Моск-

- ва: *Металлургия*: 1983).
11. М. М. Arian and Н. Çimenođlu, *Wear*, **2**: 231 (2001).
 12. Е. В. Петроченко, Е. В. Шекунов, *Изв. Челябинского научного центра*, **34(4)**: 48 (2006).
 13. А. В. Пустовгар, *Вісник СумДУ*, **15**: 113(2000).
 14. А. И. Любич, *Сварочное производство*, **11**: 22 (2001).