

ВПЛИВ ВАНАДІЮ НА СИСТЕМУ Fe-Si-Mn-C-O В УМОВАХ ІСНУВАННЯ РІДКОЇ ВАННИ МЕТАЛУ

Вінницький національний технічний університет

В статті запропоновано заходи для подолання негативних явищ шляхом легування зварювальної ванни ванадієм. Встановлено, що основним параметром, що визначає рівновагу у системі і здатність хімічної реакції до розвитку за прийнятих умов проведення процесу, є величина зміни термодинамічного (ізобарно-ізоермічного) потенціалу ΔGT_0 (потенціал Гіббса).

ВСТУП

Підвищення працездатності машин та обладнання, як і раніше, залишається одним із основних напрямків наукових та технологічних досліджень. Вирішенням цієї проблеми є підвищення механічних характеристик конструкційних матеріалів, а саме: надійності, довговічності, зносостійкості, міцності. Цьому питанню присвячено сотні наукових робіт, але прогрес у сучасній техніці, необхідність експлуатації в екстремальних умовах, при підвищених швидкостях, тисках та навантаженнях, потребують нових досліджень та розробок, які дозволять створити нові матеріали, синтезувати зносостійкі покриття з якісно новими властивостями та експлуатаційними характеристиками та якісно змінити з'єднання різноманітних конструкцій, деталей тощо.

Актуальним є надання заданих фізико-механічних властивостей поверхневим шарам деталей, а саме: керування структуроутворенням, модифікація поверхневих шарів, утворення метастабільних систем, тобто інженерія поверхні. Для цього металеві сплави легують, синтезують зносостійкі матеріали та покриття, піддають хіміко-термічній обробці, використовують при зварюванні та наплавленні леговані електроди та дроти, тобто всі ці технологічні прийоми спрямовані на внесення у сплав комплексу певних хімічних елементів [1], а сплави практично завжди є багатокомпонентними системами.

Однак, при створенні зносостійких композиційних матеріалів, покриттів чи просто з'єднань необхідно враховувати, що поруч з твердими сполуками вони мають містити в'язку (пластичну) матрицю, а для цього потрібно використовувати багатокомпонентні суміші з легуючими та інертними добавками. Але врахувати усі фактори, які мають вплив на ванну рідкого металу у процесі зварювання чи наплавлення, вкрай важко. Адже окрім високої температури дуги та самого розплаву необхідно врахувати термодинамічні фактори, а також кінетику процесів, тобто швидкість і механізм хімічних реакцій. Рівень стабільності (метастабільності, нестабільності) фаз такого композиту повинен забезпечити цю адаптивність, а пріоритетність реакцій утворення сполук у твердому стані матеріалу має бути прогнозованою.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Для визначення складу багатокомпонентних сплавів потрібна розрахункова модель, що могла б забезпечити достатньо достовірний прогноз пріоритетності перебігу необхідних реакцій. Така модель описана авторами [2] та може бути використана для дослідження впливу легувальних елементів на систему Fe-Si-Mn-C-O деталей типу вал.

Широке застосування у машинобудуванні мають деталі типу вал, які, в основному, виготовляються з конструкційних сталей марок 45, 50, 50Г2 та інших, що мають спільну систему Fe-Si-Mn-C-O. Для відновлення таких деталей застосовують способи нанесення покриття дротами для напівавтоматичного наплавлення (дріт св 09Г2С).

Зазвичай технологія відновлення поверхонь деталей типу вал полягає у наплавленні поверхневого шару електродами, хімічний склад яких наближений до складу основного металу, з урахуванням витрат на випаровування, розкиснення та розбризкування. Для досягнення необхідних зносостійких характеристик застосовують легування різними хімічними елементами.

Суттєво підвищує міцність, твердість та зносостійкість сталі додавання у якість легуючого елемента ванадію (V), за рахунок розкиснюючої дії лігатури (зв'язування розчинених у рідкій ванні кисню, азоту і сірки) та внаслідок утворення карбідів. Крім того, утворюючи тугоплавкі карбіди та нітриди, ванадій сприяє подрібненню первинних та вторинних зерен, що робить сталь

дрібнозернистою. Розчиняючись у фериті, ванадій підвищує границю текучості та покращує пластичність [3].

Позитивний вплив ванадію на механічні характеристики конструкційних матеріалів досліджено як вітчизняними, так і закордонними науковцями [1, 3, 4]. Проте, термодинаміку утворення сполук ванадію в системі Fe-Si-Mn-C-O досліджено недостатньо. Відсутні дослідження послідовності та пріоритетності перебігу хімічних реакцій утворення сполук ванадію.

Постановка задачі: дослідити процеси зварювання якісних, дрібнозернистих та легованих сталей, та випадки погіршення структури металу в зоні шва, зокрема, ростом зерен та випаданням у вигляді сітки карбідів заліза та інших легувальних елементів.

Задачею роботи є: розробка заходів для подолання цих негативних явищ шляхом легування зварювальної ванни ванадієм.

Виявити основні хімічні реакції, встановити вірогідність передбачуваного масообміну та його спрямованість можна за допомогою термодинамічного аналізу. Основним параметром, що визначає рівновагу у системі і здатність хімічної реакції до її розвитку, за прийнятих умов проведення процесу, є величина зміни термодинамічного (ізобарно-ізотермічного) потенціалу ΔG_T^0 (потенціал Гіббса) [5]. З огляду на елементи, присутні у ванні рідкого металу системи Fe-Si-Mn-C-O (сталі типу 45) при наплавленні, досліджено температурну залежність зміни енергії Гіббса від взаємодії цієї системи з ванадієм. Розрахунок потенціалу Гіббса проводили методом абсолютних ентропій за формулою:

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_{298}^0 - 2,302 \Delta a T \lg T - \frac{1}{2} \Delta b T^2 - \frac{1}{6} \Delta c T^3 - \frac{1}{2} \Delta d T^{-1} + I_1 T - I_2, \quad (1)$$

де ΔH_{298}^0 – ентальпія утворення сполуки за стандартних умов, кДж/моль; T – температура, К; Δa , Δb , Δc , Δd – коефіцієнти у рівнянні температурної залежності зміни теплоємності системи; I_1 , I_2 – константи інтегрування.

Значення коефіцієнтів та величин, що входять у рівняння, наведені за даними [6]. Розглядався температурний інтервал від 500 до 1600 °С, в якому досліджувалась зміна вільної енергії Гіббса. В подальшому дослідженні розглянуті процеси, які відбуваються в новоутвореній системі Fe-Si-Mn-V-C-O, розплавленій електричною дугою. Внаслідок дії дуги в розплаві значно прискорюється масоперенесення компонентів системи та збільшується ймовірність наближення елементів на необхідну відстань, що дозволяє утворити відповідні сполуки. Тобто, у цьому випадку кінетичні фактори у відношенні до швидкості протікання тих чи інших реакцій стають другорядними. На перший план виходять процеси масопереносу та термодинамічні стимули утворення сполук.

Розглянемо пріоритетність утворення хімічних сполук, в окресленій вище системі, за умови другорядності кінетичних факторів.

За формулою 1 розрахунку ізобарно-ізотермічних потенціалів, було побудовано графіки їх залежності від температури, які для зручності були розділені за системами (метал-оксиген, метал-вуглець, карбід-оксиген, оксиди-метал та інші). Далі визначались пріоритетності реакцій утворення простих карбідів та простих оксидів (тобто тих, які утворились у результаті взаємодії простих речовин). Для цього використовували підхід, за яким пріоритетними вважають реакції, які під час проходження зменшують внутрішню енергію Гіббса на найбільшу величину в заданому інтервалі температур. Після цього побудовано графіки зміни потенціалу Гіббса для реакцій, складовими яких є новоутворені прості сполуки..

Аналіз зміни потенціалу Гіббса у температурному інтервалі, що вивчається, дає змогу виокремити найбільш імовірні реакції компонентів системи. Крім того, потрібно враховувати послідовність утворення складних хімічних сполук, тобто утворенню складної сполуки повинно передувати утворення більш простої.

Пріоритетні реакції, визначені на етапі аналізу графіків зміни ізобарно-ізотермічного потенціалу, автори пропонують розглядати на моделі перебігу хімічних реакцій у розплаві, яка представлена у вигляді схеми (рис. 1). Ця модель дає змогу визначити послідовність та імовірність перебігу хімічних реакцій і, як наслідок, існування сполук у системі Fe-Si-Mn-V-C-O після кристалізації.

На схемі (див. рис. 1) зображено послідовність перебігу хімічних реакцій (зліва направо), тобто реакції праворуч можливі лише за умови утворення первинних сполук чи наявності простих речовин (в лівій частині схеми). Лініями показано взаємодію сполук та результат їх реакцій, причому напрями реакцій можуть відбуватися за схемами, показаними на рисунку 1а.

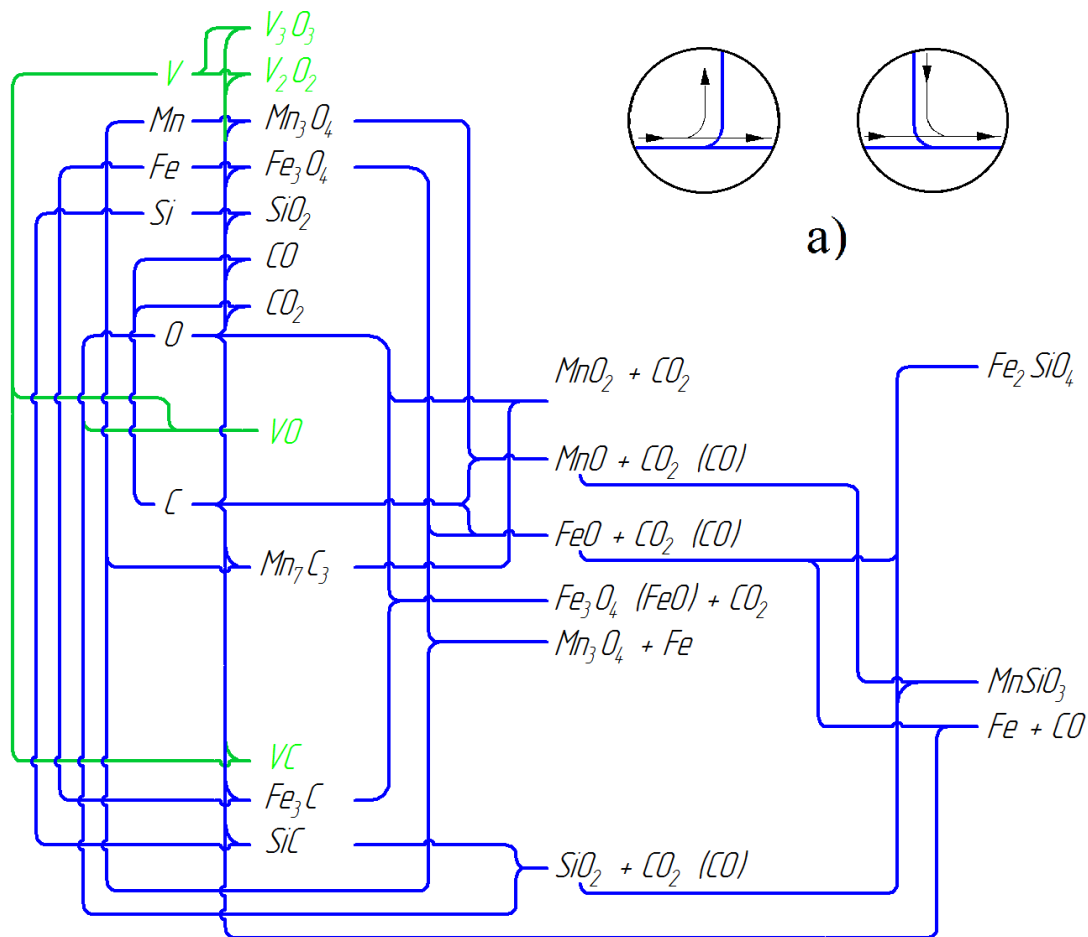


Рисунок 1 – Модель перебігу та утворення сполук у системі Fe-Si-Mn-V-C-O в умовах існування рідкої ванни металу: а) напрями перебігу реакцій

Імовірність проходження реакції тим вища, чим вище на схемі знаходяться компоненти, що беруть участь у взаємодії (модель не має жодної сполуки, яка б мала однакову імовірність протікання).

Аналіз мікроструктури системи Fe-Si-Mn-V-C-O дозволить дослідити вплив ванадію на фізико-механічні характеристики утвореного покриття. Для експериментальних досліджень було розроблено та виготовлено електрод на основі стандартного складу електрода марки УОНИ-13-55 з додатковим веденням в обмазку 1 % ванадію від загальної маси електрода. Ванадій, з огляду на модель (див. рис. 1), має високу активність, тобто низьку стабільність метасистеми.

Після зварювання дослідних пластин виготовили зразки для проведення мікро- та макроаналізів поперечного перерізу шва. Мікрошліф виготовляли за ГОСТ 11545-65. Мікрошліфи для проявлення мікроструктури підлягали хімічному травленню в 4 % розчині азотної кислоти в етиловому спирті протягом 5–30 с, в залежності від структури нанесеного покриття. Потім промивали водою, протирали поверхню спиртом й просушували. Мікроструктурний аналіз проводився з використанням оптичної мікроскопії на мікроскопі МИМ-8М з подальшою фіксацією зображень за допомогою цифрової фотокамери.

На всіх зразках не виявлено дефектів. Вплив ванадію на сталь переважно спостерігається у подрібненні зерна і стримуванні його росту при нагріванні (рис. 2), перлітно-феритні структури явно подрібнились та рівномірно розповсюджені по зразку.

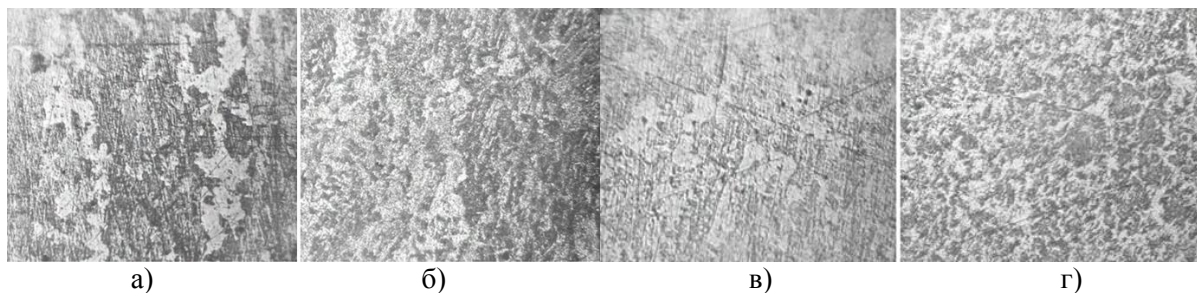


Рисунок 2 – Мікроструктури зварних з'єднань: а) зварний шов, утворений зварювальним дротом св08Г2С; б) зварний шов з додаванням ванадію; в) зона термічного впливу зварного шва утвореного зварювальним дротом св08Г2С; г) зона термічного впливу зварного шва з додаванням ванадію

З точки зору термодинамічної рівноваги, ванадій є менш метастабільним, тобто має велику активність, що, в свою чергу, призводить до вступу його у розкислювальні процеси навіть швидше стандартних розкиснювальних елементів таких як кремній та марганець. Імовірність утворення карбідів ванадію досить низька, але більша за поріг утворення карбідів заліза.

ВИСНОВКИ

Присутність ванадію в системі рідкого металу Fe-Si-Mn-C, дозволяє позитивно впливати на кількість легувальних елементів після застигання зварного шва. Дисперсні частинки ванадію у рідкому металі дозволяють створити центри кристалізації і, тим самим, подрібнити мікроструктури.

Доведено, що додавання ванадію до системи Fe-Si-Mn-C дозволяє змінити пріоритетність проходження хімічних реакцій у зварювальній ванні та впливають на ударну міцність та твердість з'єднання. Ударна в'язкість з'єднання значення коливається в межах 7 – 8 (Дж/см²), в той час як твердість зварного шва зменшується до 58,5 – 62 HRA.

Проаналізовано термодинаміку перебігу утворення сполук у зварному шві та мінімізацію їх негативного впливу на якість зварних з'єднань. Розглянуто взаємодію компонентів системи Fe-Si-Mn-V-C та розраховано хімічний склад порошкового дроту для створення якісного зварного з'єднання деталей: C=0,5-0,12 %; Si=1,3 %; Mn=1-2,5 %; V=до 1 %; S=не більше 0,02 %; P=не більше 0,03 %, решта Fe.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Меськин В. С. Основы легирования стали / В. С. Меськин. – СПб : СПбГИТМО (ТУ), 2002. – 236 с.
2. Савуляк В. І. Термодинаміка утворення сполук під час легування розплаву системи Fe-Cr-Ni-Si-C-O манганом / В. І. Савуляк, О. В. Шаповалова, О. В. Поступайло // Наукові нотатки міжвузівський збірник (за галузями знань «Технічні науки»). – 2015. – Вип. 50. – С. 194–198.
3. Макеев Д. Н. Влияние вводимых легирующих элементов на свойства стали / Д. Н. Макеев // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2012. – № 3(67). – С. 92–98.
4. Polovov I. B. Thermodynamics of the formation of vanadium (II) complexes in chloride melts Text. / I. B. Polovov [et al.] // ECS Transactions. – 2007. – V. 3, No. 35. – P. 589–597.
5. Голубец В. М. Износостойкие покрытия из эвтектики на основе Fe-Mn-C-B / В. М. Голубец, В. И. Пашечко. – К : Наук. думка, 1989. – 160 с.
6. Термодинамические свойства неорганических веществ: справочник / У. Д. Верятин, В. П. Маширев, Н. Г. Рябцев, [и др.]. – М : Атомиздат, 1965. – 461 с.

REFERENCES

1. Mes'kin V. S. Osnovy legirovaniya stali / V. S. Mes'kin. – SPb : SPbGITMO (TU), 2002. – 236 s. (Rus)
2. Savuljak V. I. Termodinamika utvorennja spoluk pid chas leguvannja rozplavu sistemi Fe-Cr-Ni-Si-C-O manganom / V. I. Savuljak, O. V. Shapovalova, O. V. Postupajlo // Naukovi notatki mizhvuzivs'kij zbirnik (za galuzjami znan' «Tehnichni nauki»). – 2015. – Vip. 50. – S. 194–198. (Ukr)
3. Makeev D. N. Vlijanie vvodimyh legirujushhih elementov na svojstva stali / D. N. Makeev // Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. – 2012. – № 3(67). – S. 92–98. (Rus)

4. Polovov I. B. Thermodynamics of the formation of vanadium (II) complexes in chloride melts Text. / I. B. Polovov [et al.] // ECS Transactions. – 2007. – V. 3, No. 35. – P. 589–597. (Eng)
5. Golubec V. M. Iznosostojkie pokrytija iz jevtektiki na osnove Fe–Mn–C–B / V. M. Golubec, V. I. Pashechko. – K : Nauk. dumka, 1989 – 160 s. (Rus)
6. Termodinamicheskie svojstva neorganicheskikh veshhestv: spravochnik / U. D. Verjatin, V. P. Mashirev, N. G. Rjabcev, [i dr.]. – M : Atomizdat, 1965. – 461 s. (Rus)

В. І. Савуляк, О. В. Поступайло, О. В. Шаповалова

ВПЛИВ ВАНАДІЮ НА СИСТЕМУ Fe-Si-Mn-C-O В УМОВАХ ІСНУВАННЯ РІДКОЇ ВАННИ МЕТАЛУ

Вінницький національний технічний університет

Актуальною задачею є надання заданих фізико-механічних властивостей поверхневим шарам деталей, а саме: керування структуротворенням, утворення метастабільних систем, тобто інженерія поверхні. Для визначення складу багатокомпонентних сплавів потрібна розрахункова модель, що могла б забезпечити достатньо достовірний прогноз пріоритетності перебігу необхідних реакцій. Така модель описана авторами роботи та може бути використана для дослідження впливу легувальних елементів на систему Fe-Si-Mn-C-O.

Суттєво підвищує міцність, твердість та зносостійкість сталі додавання у якості легувального елемента ванадію (V), за рахунок розкислюючої дії лігатури та внаслідок утворення карбідів. Крім того, утворюючи тугоплавкі карбіди та нітриди, ванадій сприяє подрібненню первинних та вторинних зерен, що робить сталь дрібнозернистою. Розчиняючись у фериті, ванадій підвищує межу текучості та покращує пластичність.

Задачею роботи була розробка заходів для подолання негативних явищ шляхом легування зварювальної ванни ванадієм. Основним параметром, що визначає рівновагу у системі і здатність хімічної реакції до розвитку за прийнятих умов проведення процесу, є величина зміни термодинамічного (ізобарно-ізотермічного) потенціалу ΔGT^0 (потенціал Гіббса). Аналіз зміни потенціалу Гіббса у температурному інтервалі, що вивчається, дає змогу виокремити найбільш імовірні реакції компонентів системи. Пріоритетні реакції, визначені на етапі аналізу графіків зміни ізобарно-ізотермічного потенціалу, автори пропонують розглядати на моделі перебігу хімічних реакцій у розплаві, яка представлена у вигляді схеми. Ця модель дає змогу визначити послідовність та імовірність перебігу хімічних реакцій і, як наслідок, існування сполук у системі Fe-Si-Mn-V-C-O після кристалізації.

Аналіз мікроструктури системи Fe-Si-Mn-V-C-O дозволить дослідити вплив ванадію на фізико-механічні характеристики утвореного покриття. Для експериментальних досліджень було розроблено та виготовлено електроди на яких підтверджувались теоретичні висновки роботи.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ, ВАНАДІЙ, МОДЕЛЮВАННЯ, НАДІЙНІСТЬ, ДОВГОВІЧНІСТЬ.

Савуляк Валерій Іванович, доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри технології підвищення зносостійкості ВНТУ, e-mail: vsavulyak@mail.ru, тел. +380963507247, Україна, 21000, м. Вінниця, вул. В. Інтернаціоналістів, 3, к. 311.

Поступайло Олександр Володимирович, Вінницький національний технічний університет, аспірант кафедри технології підвищення зносостійкості ВНТУ, e-mail: postupajlo.o.v@gmail.com, тел. +380978677703, Україна, 21000, г. Вінниця, вул. Стахурського 14, кв. 97.

Шаповалова Олеся Василівна, Вінницький національний технічний університет, інженер кафедри технології підвищення зносостійкості ВНТУ, e-mail: lesinka_85@mail.ru, тел. +380976892451, Україна, 21000, г. Вінниця, вул. Карла Маркса 40, кв 1.

V. I. Savulyak, O. V. Postupaylo, O. V. Shapovalova

THE INFLUENCE VANADIUM ON THE FE-SI-MN-C-O DURING THE EXISTENCE OF A LIQUID BATH METAL

Vinnytsia National Technical University

The actual problem is the provision of data of physical and mechanical properties of the surface layer parts, namely managing structured formation, formation of metastable, which is engineering the surface. For the determination of multicomponent alloys requires calculation model that could provide sufficiently accurate prediction priority flow necessary reactions. This model is described by the authors of the work and can be used to study the influence of alloying elements on the system Fe-Si-Mn-CO.

Significantly increases the strength, hardness and wear resistance of steel as the addition of alloying element vanadium (V), by deoxidation action ligatures and by the formation of carbides. In addition, forming refractory carbides and nitrides, vanadium promotes primary and secondary grinding grains makes fine steel. Dissolved in ferrite, vanadium increases the liquid limit and plasticity improves.

The task was set of development activities to overcome the negative effects of doping by vanadium weld pool. The main parameter that determines the balance of the system and the ability of a chemical reaction to its development, accepted the conditions of the process is a thermodynamic quantity changes (isobaric-isothermal) potential ΔGT^0 (Gibbs potential). Analysis Gibbs potential change in the temperature range under study allows to distinguish the most likely response of the system. Priority reactions identified at the analysis stage schedules isobaric-isothermal change of capacity, the authors propose a model to examine the course of chemical reactions in the melt, which is represented by the scheme. This model allows us to determine the probability of the sequence and flow of chemical reactions and the resulting compounds exist in the system Fe-Si-Mn-V-C-O after crystallization.

Analysis of the microstructure of the system Fe-Si-Mn-V-C-O will investigate the effect of vanadium on physical and mechanical properties of the coating formed. For experimental research was designed and manufactured electrodes on which the conclusions of theoretical been confirmed.

KEYWORDS: THERMODYNAMIC POTENTIAL, VANADIUM, SIMULATION, RELIABILITY, DURABILITY.

Savulyak Valeriy I., Doctor of Technical Science, Professor, the Vinnytsia National Technical University, Head of the Department of Technology of Increase of Wearproofness VNTU, e-mail: vsavulyak@mail.ru, tel. +380963507247, Ukraine, 21000, Vinnytsya, 3, V. Internationalistiv St., apt. 311.

Postupaylo Olexander V., Vinnytsia National Technical University, postgraduate student of the Department of Technology of Increase of Wearproofness VNTU, e-mail: postupajlo.o.v@gmail.com, tel. +380978677703, Ukraine, 21000, Vinnitsa, 14, Stakhurska Str., apt. 97.

Shapovalova Olesya V., Vinnytsia National Technical University, engineer of the Department of Technology of Increase of Wearproofness VNTU, e-mail: lesinka_85@mail.ru, tel. +380976892451, Ukraine, 21000, Vinnitsa. 40, Karl Marx St., apt. 1.

В. И. Савуляк, А. В. Поступайло, А. В. Шаповалова

ВЛИЯНИЕ ВАНАДИЯ НА СИСТЕМУ FE-SI-MN-CO В УСЛОВИЯХ СУЩЕСТВОВАНИЯ ЖИДКОЙ ВАННЫ МЕТАЛЛА

Винницкий национальный технический университет

Актуальной задачей является предоставление данных физико-механических свойств поверхностным слоям деталей, а именно: управление структурообразованием, образование метастабильных систем, то есть инженерия поверхности. Для определения многокомпонентных сплавов нужна расчетная модель, которая могла бы обеспечить достаточно достоверный прогноз приоритетности течения необходимых реакций. Такая модель создана авторами работы и может быть использована для исследования влияния легирующих элементов на систему Fe-Si-Mn-C-O.

Существенно повышает прочность, твердость и износостойкость стали добавления в качестве легирующего элемента ванадия (V), за счет раскислительного действия лигатуры и вследствие

образования карбидов. Кроме того, образуя тугоплавкие карбиды и нитриды, ванадий способствует измельчению первичных и вторичных зерен, что делает сталь мелкозернистой. Растворяясь в феррите, ванадий повышает предел текучести и улучшает пластичность.

Задачей работы была разработка мер по преодолению негативных явлений путем легирования сварочной ванны ванадием. Основным параметром, определяющим равновесие в системе и способность химической реакции к ее развитию, по принятым условиям проведения процесса, является величина изменения термодинамического (изобарно-изотермического) потенциала ΔGT^0 (потенциал Гиббса). Анализ изменения потенциала Гиббса в температурном интервале изучаемого позволяет выделить наиболее вероятные реакции компонентов системы. Приоритетные реакции, определенные на этапе анализа графиков изменения изобарно-изотермического потенциала, авторы предлагают рассматривать на модели протекания химических реакций в расплаве, которая представлена в виде схемы. Данная модель позволяет определить последовательность и вероятность протекания химических реакций и, как следствие, существование соединений в системе Fe-Si-Mn-V-C-O после кристаллизации.

Анализ микроструктуры системы Fe-Si-Mn-V-C-O позволит исследовать влияние ванадия на физико-механические характеристики образованного покрытия. Для экспериментальных исследований были разработаны и изготовлены электроды на которых подтверждались теоретические выводы работы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ, ВАНАДИЙ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, НАДЕЖНОСТЬ, ДОЛГОВЕЧНОСТЬ.

Савуляк Валерий Иванович, доктор технических наук, профессор, Винницкий национальный технический университет, заведующий кафедры технологии повышения износостойкости ВНТУ, e-mail: vsavulyak@mail.ru, тел. +380963507247, Украина, 21000, г. Винница, ул. Воинов Интернационалистов, 3, к. 311

Поступайло Александр Владимирович, Винницкий национальный технический университет, аспирант кафедры технологии повышения износостойкости ВНТУ, e-mail: postupajlo.o.v@gmail.com, тел. +380978677703, Украина, 21000, г. Винница, ул. Стахурського 14 кв. 97.

Шаповалова Алеся Васильевна, Винницкий национальный технический университет, инженер кафедры технологии повышения износостойкости ВНТУ, e-mail: lesinka_85@mail.ru, тел. +380976892451, Украина, 21000, г. Винница, ул. Карла Маркса 40, кв 1.