

УДК 669.14.018.8:620.181

- Євсєєва Н. О. канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів, теплових двигунів та гібридних енергетичних установок Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, e-mail: korskovanat@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3398-6537
- Міщенко В. Г. д-р техн. наук, професор, професор кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, e-mail: mishchen4@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0992-478X
- Беліков С. Б. д-р техн. наук, професор, професор кафедри транспортні технології Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, e-mail: belikov@zr.ed.ua, ORCID: 0000-0002-9510-8190
- Корнієнко В. В. аспірант Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, e-mail: vkornienko268@gmail.com, ORCID: 0009-0007-2193-3204
- Міщенко Д. В. аспірант Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, e-mail: dvmis@ukr.net

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ФАЗОВОГО СКЛАДУ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИСОКОЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ 03X17H3Г9МБДЮЧ

Мета роботи. Оцінка впливу легувальних елементів корозійностійкої сталі 03X17H3Г9МБДЮЧ на фазовий склад та показники високотемпературної корозії.

Методи дослідження. З метою перевірки впливу хімічного складу на структуру сталі 03X17H3Г9МБДЮЧ виготовлені лабораторні сталі. Виготовлення цих сталей проводили в індукційній печі з основною футеровкою ємністю 50 кг. Отримані виливки кували на заготовки розміром 40×80×100 мм, з наступною гарячою прокаткою на зразки товщиною 25, 20 та 15 мм. Визначення границь плинності сталей проводили після витримки при температурі 850 °С на протязі 10000 годин. Корозійну стійкість дослідних зразків визначали гравіметричним методом після повного занурення зразків у розплавленій магнії.

Отримані результати. Обґрунтовано вибір основних легувальних елементів та визначено їхній вплив на стійкість у агресивному середовищі відновлювального процесу виробництва губчастого титану. Виконано термодинамічний розрахунок енергії Гіббса в інтервалі робочих температур. Розглянуто та обрано необхідне співвідношення фаз сталі 03X17H3Г9МБДЮЧ на основі діаграм Шефлера де-Лонга та Потака-Сагалєвіча.

Наукова новизна. Встановлено вплив зміни хімічного складу сталі 03X17H3Г9МБДЮЧ в межах технічних умов на фазові складові, границю повзучості та стійкість у агресивному середовищі відновлювального процесу виробництва губчастого титану

Практична цінність. Показано, що легувальний комплекс корозійностійкої сталі здатний суттєво підвищити фізико-механічні та технологічні властивості, розширити функціональне застосування.

Ключові слова: корозійностійка сталь, легувальні елементи, губчастий титан, аустеніт, мартенсит, ферит, повзучість, стійкість.

Вступ

Важливим аспектом при створенні сучасних економнолегованих нікелем сталей має бути багатоконпонентне легування, яке дозволяє створення нових двофазних ($\alpha+\gamma$) та багатофазних ($\alpha+\gamma+\varepsilon'$) сталей, що позитивно впливає на їхні властивості та надає їм переваги при використанні в умовах високих температур та агресивного середовища в порівнянні з відомими аналогами. AISI 321, 05X18H10T, 10X23H18 (ГОСТ 5632-82).

На сьогодні у зв'язку з широким використанням безнікелевих та малонікелевих сталей актуальною є розробка сталі із метастабільною аустенітною структурою на основі системи Fe-Cr-Ni-Mn.

Аналіз досліджень та публікацій

Сучасний розвиток металургійної промисловості в Україні та за кордоном висуває все більш високі вимоги до розробки нових сплавів з високими показниками корозійних, механічних властивостей при економному складі легувальних елементів, особливо коштовного нікелю.

Корозійностійкі сталі та сплави є найважливішим конструкційним матеріалом широкого використання. Залежно від ступеня легування корозійностійкі сталі поділяються на хромисті, хромонікелеві, хромомарганцево-нікелеві та хромомарганцеві [1–2].

Основою розробки нових сталей є вдосконалення раніше розроблених складів, легованих марганцем,

хромом, міддю, нікелем і РЗМ та додатково молібденом, ніобієм і барієм.

Сплави системи Fe-Cr-Mn відносяться до корозійностійких, які не рідко здатні конкурувати з хромонікелевими сталями. Зниження вмісту дефіцитного нікелю у складі сталі робить перспективним застосування цих сплавів з економічної погляду, з урахуванням світових цін на нікель і марганець (~18749 і 1650 доларів за тону). Україна за запасами і ресурсами марганцевих руд займає 1 місце у Європі і 2 у світі (після Південно-Африканської Республіки). Головні запаси (близько 2,28 млрд тон) зосереджені у Нікопольському басейні (33 %) та Велико-Токмацькому родовищі (67 %). Марганець широко використовують для виробництва сталей, тому є необхідність застосування його як корисної добавки.

Увага зарубіжних досліджень спрямована на розробку аустенітних корозійностійких сталей зі зниженим вмістом нікелю та безнікелевих з підвищеним вмістом марганцю, а також добавками азоту і міді. Фірмою «Shinnittetsu Sumikin Stainless» (Хікарі, Японія) розроблено склад корозійностійкої сталі з зниженим вмістом нікелю NSSC 180 (19% Cr, 0,3% Ni, 0,4% Cu-Nb), але цей склад забезпечує корозійну стійкість тільки у звичайній атмосфері [3–4].

Аустенітна хромонікелева сталь є одним з основних конструкційних матеріалів у хімічній та інших галузях промисловості, де потрібна корозійна тривкість та жароміцність. Найбільший недолік сталей цього класу - це схильність до хлоридного розтріскування, тобто руйнування в гарячих хлоридних розчинах. При виборі матеріалу для роботи в умовах агресивного середовища технологічного процесу відновлення титану та створення нових сталей з обмеженим вмістом нікелю потрібно враховувати негативний вплив на структуру, оскільки тільки марганець і азот, крім нікелю, вуглецю та міді, мають спроможність для розширення сфери існування аустеніту у економічних високохромистих сталях.

Мета роботи

Метою даної роботи є дослідження системи легування сталі в рамках технічних умов для підвищення її механічних властивостей і корозійної стійкості. в умовах відновлювального процесу отримання губчастого титану.

Для досягнення мети вирішено ряд завдань:

- обрано границі легування сталі для реактору в умовах агресивного середовища технологічного процесу відновлення губчастого титану;

- встановлено необхідне співвідношення структурних складників сталей залежно від хімічного складу та режиму термічного оброблення.

Матеріал і методика досліджень

Для дослідження впливу легувальних елементів корозійностійкої сталі 03X17H3Г9МБДЮч на $\sigma_{10^{-4}}^{850}$ - повзучості та показники високотемпературної корозії проведені натурні випробування.

З метою перевірки впливу хімічного складу сталі 03X17H3Г9МБДЮч на фазовий склад виготовлено вісім лабораторних сталей, які проводили в індукційній печі з основною футеровкою ємністю 50 кг. Отримані виливки кували на заготовки розміром 40 × 80 × 100 мм, з яких гарячим прокатуванням отримували зразки товщиною 25, 20 і 15 мм (табл. 1).

Для визначення границі плинності проводили порівняння тривкості сталей при температурі 850 °С протягом 10000 годин. Корозійну стійкість дослідних зразків визначали гравіметричним методом після повного занурення зразків у розплавлений магній протягом 10000 годин при температурі 850 °С.

Результати досліджень

Визначено позитивний вплив легувальних елементів корозійностійкої сталі 03X17H3Г9МБДЮч на $\sigma = 850$ показники високотемпературної корозії та повзучості. На основі результатів досліджень фізико-хімічної взаємодії компонентів сталі з агресивним середовищем процесу відновлення титану вибрані обмеження концентрації легувальних елементів: нікель, хром, марганець, молібден [5].

Передумовою досліджень структурних діаграм, політермічних перетинів і ізотермічних розрізів досліджуваних сталей та впливу легувальних елементів на властивості корозійностійкої сталі є особливість технологічного процесу отримання якісного титану і, водночас, зменшення забруднення губчастого титану компонентами матеріалу реактора [6].

З врахуванням умов перебігу технологічних процесів магнійтермічного виробництва титану, обрано складу відомих та дослідних марок сталей для порівняльного аналізу їхньої корозійної стійкості та жароміцності.

Враховуючи високу жароміцність аустенітних сталей, підібрано співвідношення аустенітоутворювальних і феритоутворювальних елементів, яке забезпечує аустенітну структуру в інтервалі температур експлуатації. Для релаксації термічних напружень, що виникають при циклічній зміні температур, передбачено наявність феритної складової – 5...10 % при ≤ 400 °С.

Розробку нового матеріалу для реторт проводили з урахуванням взаємодії кожного з компонентів сталі та добавок з середовищем відновлювального процесу отримання титану губчастого. Тетрахлорид титану $TiCl_4$ – вельми активний і взаємодіє з усіма металами, в результаті чого відновлюється до нижчих хлоридів, що обумовлює виділення значної кількості теплоти. Попередніми дослідженнями проведено термодинамічний розрахунок вільної енергії окисних реакцій основних легувальних елементів та добавок з тетрахлоридом титану $TiCl_4$, які можуть відбувались в реторті [7].

Комплексним дослідженням взаємодії тетрахлориду титану з компонентами сталі внаслідок зміні температури процесу встановлено основні термодинамічно стійкі легувальні елементи. Обґрунтовано застосування таких елементів як молібден, кобальт,

ніобій, а також марганець (з огляду до того ж наявність сировинної бази України).

Оскільки марганець відноситься до елементів не схильних до пасивації, то корозійна стійкість в окиснювальних середовищах для сталей забезпечувалась переважно вмістом хрому і, відповідно, додатковим легуванням елементами, здатними підвищити корозійну стійкість.

Співвідношення фазових складових дослідної сталі 03X17H3Г9МБДЮч обрано на основі діаграм Шефлера де-Лонга та Потака-Сагалевича. Вміст аустенітоутворювальних, феритоутворювальних та мартенситоутворювальних легувальних елементів, які містить сталь, розраховували за рівняннями [8–10]:

$$\begin{aligned} \text{Cr}_{\text{екв. фер.}} = & \text{Cr} - 1,5\text{Ni} + 1,5\text{Si} - 0,75\text{Mn} - \\ & - K_{\text{ф}} (\text{C} + \text{N}) + \text{Mo} + 4\text{Al} + 4\text{Ti} + 1,5\text{V} + 0,5\text{W} + \\ & + 0,9\text{Nb} - 0,6\text{Co} - 0,5\text{Cu}, \end{aligned} \quad (1)$$

де $\Sigma \text{Cr}_{\text{екв. фер.}}$ – хромовий еквівалент феритоутворення, який враховує сумарний вплив всіх легувальних елементів на утворення δ -ферита;

$$\begin{aligned} \text{Cr}_{\text{екв. март.}} = & 20 - [\text{Cr} + 1,5\text{Ni} + 0,7\text{Si} + 0,75\text{Mn} + \\ & + K_{\text{м}} (\text{C} + \text{N}) + 0,6\text{Mo} + 1,5\text{V} + 1,1\text{W} + 0,2\text{Co} + \\ & + 0,2\text{Cu} + 1,9\text{Ti} - 0,1 \text{Al}], \end{aligned} \quad (2)$$

де $\text{Cr}_{\text{екв. март.}}$ – хромовий еквівалент мартенситоутворення, який враховує вплив всіх легувальних елементів на температуру мартенситного перетворення.

Вміст елементів, у мас. %: Cr, Ni, C, N, Mn, Mo, Si, Nb, Al, Cu, Ti, V, W, Co.

Хімічний склад сталі 03X17H3Г9МБДЮч захищений патентом (Патент 100650 Україна. МПК С 22 С 38/02. Жароміцна корозійностійка сталь) забезпечує високий рівень механічних та службових властивостей (табл. 1) [11].

Додаткове введення молібдену, ніобію, марганцю до 9 % та барію при певному співвідношенні забезпечує високий опір сталі міжкристалітної корозії при температурах ≥ 850 °С. Найбільший ефект від вмісту молібдену одержують в інтервалі 0,2...0,6 мас.%, нижня границя вмісту молібдену зумовлена показником міцності сталі, а верхня – небажаним натіканням в губчастий титан розробленої сталі.

Введення алюмінію 0,02...0,15 мас.%, сприяє регулюванню дисперсності неметалевих включень у сталі. Вміст кремнію до 0,8 мас.%, сприяє підвищенню ступеню розкиснення, а перевищення суттєво знижує пластичність.

Добавки барію з розрахунку 0,001 мас.%, що відповідає межі його розчинності в твердому розчині сталі. Вміст групи рідкісноземельних металів РЗМ підтримували в діапазоні (0,001...0,01 мас.%), забезпечуючи зменшення дифузійної рухливості вуглецю та азоту на межах зерен, що перешкоджало утворенню карбідів і нітридів.

Розріз потрійної діаграми Fe-Cr-Ni [8–10] при різних температурах підтвердив результати експерименту, тобто починаючи з температури 1100 °С сталь

03X17H3Г9МБДЮч при еквівалентах $\text{Cr}_{\text{екв. фер.}} = 7,3$ і $\text{Cr}_{\text{екв. март.}} = -11,17$ знаходиться в області однорідного твердого розчину. При зниженні температури < 800 °С структура сталі перетворюється на область змішаних твердих розчинів $\alpha + \gamma$.

Аналіз ізотермічних перерізів (рис. 2) структурної діаграми Потака-Сагалевича показав наступний склад структурних складових (рис. 2) сталі 03X17H3Г9МБДЮч ~27 % аустеніту метастабільного, ~ 65 % аустеніту структурновільного та ~ 8 % фериту (рис. 3).

Хімічний склад та результати випробувань наведено у (табл. 1).

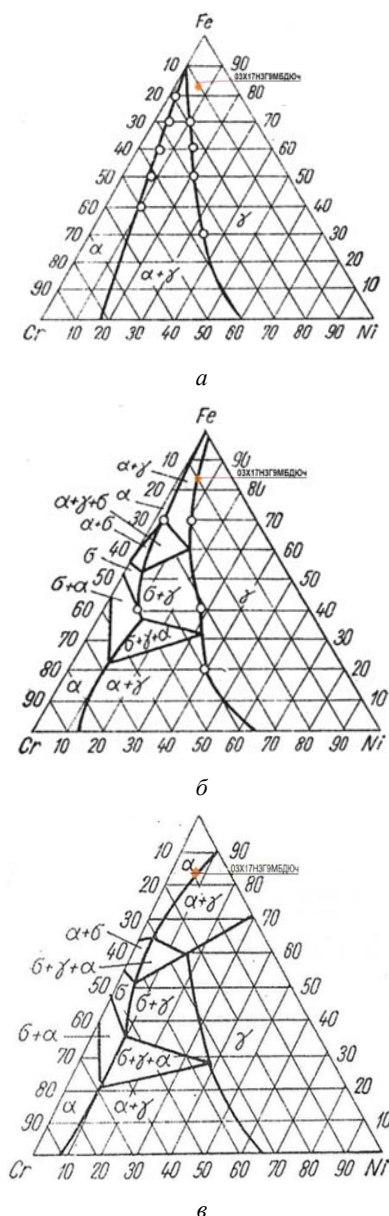


Рисунок 1. Ізотермічний переріз потрійної діаграми Fe-Cr-Ni [9]:

a – 1100 °С; б – 800 °С; в – 400 °С

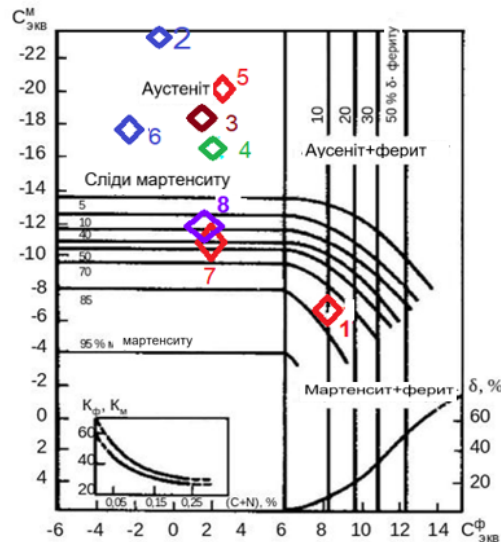


Рисунок 2. Структурна діаграма корозійностійких сталей [10]

Таблиця 1 – Хімічний склад дослідних сплавів сталі 03X17H3Г9МБДЮч [11]

№ зразків	Вміст легувальних елементів, мас. %											
	C	N	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	Al	Cu	Ba	P3M
1	0,02	0,01	0,38	4,82	15,7	1,92	0,19	0,14	0,02	0,12	0,001	0,002
2	0,11	0,10	0,82	10,7	19,1	3,86	0,58	0,37	0,16	0,47	0,001	0,014
3	0,09	0,02	0,71	9,0	18,5	3,65	0,25	0,31	0,03	0,25	0,001	0,008
4	0,03	0,07	0,75	9,4	17,9	3,48	0,57	0,25	0,06	0,31	0,001	0,004
5	0,12	0,04	0,81	10,5	19,0	2,05	0,21	0,10	0,12	0,15	0,001	0,01
6	0,10	0,03	0,56	10,35	18,7	2,15	0,19	0,11	0,15	0,21	0,001	0,005
7	0,05	0,03	0,32	8,9	16,0	2,0	0,20	0,40	0,03	0,45	0,001	0,001
8	0,02	0,12	0,8	5,0	17,0	3,8	0,60	0,21	0,04	0,10	0,001	0,003
03X17H3Г 9МБДч Патент України № 100650	0,029	-	0,89	9,09	16,6	2,3	0,262	0,325	0,14	0,413	-	0,01

Результати дослідження швидкості корозії та границь повзучості досліджених сталей показують, що співвідношення легувальних елементів забезпечує раціональний структурний стан з достатньо високими показниками повзучості та корозійної стійкості сталі в діапазоні температур (100...850 °C) (табл. 2).

Таблиця 2 – Результати дослідження швидкості корозії та границь повзучості зразків сталей

№ зразків	Швидкість корозії, г/см ² ·год	Границя $\sigma_{10^{-4}}^{850}$ -повзучості, МПа
1	1,2613	12,1
2	1,1805	61
3	1,1524	49
4	1,0931	58
5	1,2134	34
6	1,2485	31
7	1,2415	15
8	1,2510	9,5

Висновки

Розроблений хімічний склад сталі 03X17H3Г9МБДч створює необхідний фазовий стан в діапазоні робочих температур технологічного процесу і, відповідно, забезпечує максимальні службові властивості та ресурс експлуатації.

Список літератури

1. Stainless steel grades [Електронний ресурс] // Outokumpu products. – Режим доступу: <https://www.outokumpu.com/products>
2. AvestaWelding [Электронний ресурс] // Avesta welding products. – Режим доступу: <http://www.kskct.cz/images/materialy/en/avesta.pdf>
3. Мищенко В. Г. Развитие разрушения аппаратов восстановления и примеси в губчатом титане [Текст] / В. Г. Мищенко, С. В. Твердохлеб, О. С. Омельченко // Вісник двигунобудування. – 2004. – № 3. – С. 135–137.
4. Fuwa A. Producing titanium by reducing $TiCl_2$ – $MgCl_2$ mixed salt with magnesium in the molten state [Текст] / Akio Fuwa, Satoru Takaya // JOM Journal of

the Minerals, Metals and Materials Society. – 2005. – Vol. 57. – № 10. – P. 56–60. doi.org/10.1007/s11837-005-0153-7

5. Мищенко В. Г. Анализ физико-химического взаимодействия компонентов стали со средой восстановительного процесса получения титана [Текст] / В. Г. Мищенко, Н. А. Евсеева // Вісник двигунобудування. – 2009. – № 2. – С. 120–122.

6. Примесные элементы в поверхностных слоях блока губчатого титана [Текст] / [И. Ф. Червонный, А. Н. Масленников, Л. В. Сорокина, В. И. Иващенко] // Тi-2008 в СНГ : сб. трудов междунар. конф., 18–21 мая 2008 г., – К. : НАН Украины, Ин-т металлофизики, 2008. – С. 183–186.

7. Червонный И. Ф. О разрушении материала реторты в процессе восстановления четыреххлористого

титана / И. Ф. Червонный, В. И. Иващенко, Д. А. Листопад // Титан. – 2007. – № 1. – С. 9–14.

8. De Long W. T. Ferrite in austenitic stainless steel weld metal / W. T. De Long // Welding Journal. – 1974. – № 53. – P. 273–286.

9. Диаграммы состояния двойных металлических систем : Справочник [Текст] / Под ред. Н. П. Лякишева. – М. : Машиностроение, 1997. – 1024 с.

10. Потак Я. М. Структурная диаграмма деформируемых нержавеющей сталей [Текст] / Я. М. Потак, Е. А. Сагалевиц // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1974. – № 9. – С. 12–16.

11. Пат. 100650 Україна. МПК С 22 С 38/02. Жароміцна корозійностійка сталь / В. Г. Міщенко, Н. О. Євсєєва, О. П. Лютий [и др.] – № 100650 ; заявл. 17.02.12 ; опубл. 10.01.13, Бюл. № 1. – 4 с.

Одержано 27.09.2024

FEATURES OF THE FORMATION OF THE PHASE COMPOSITION AND PROPERTIES OF HIGH ALLOY STEEL 03X17H3Г9МБДЮЧ

- Yevsyeyeva N. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department of cars, heat engines and hybrid power plants, National University Zaporizhzhia Polytechnic, Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: korskovanat@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3398-6537
- Mishchenko V. Dr. Sc., Professor, professor of the department of integrated technologies of welding and structural modeling, National University Zaporizhzhia Polytechnic, Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: mishchen4@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0992-478X
- Byelikov S. Dr. Sc., Professor, professor of the transport technologies department, National University Zaporizhzhia Polytechnic, Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: belikov@zp.ed.ua, ORCID: 0000-0002-9510-8190
- Kornienko V. Postgraduate student, National University Zaporizhzhia Polytechnic, Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: vkornienko268@gmail.com, ORCID: 0009-0007-2193-3204
- Mishchenko D. Postgraduate student student, National University Zaporizhzhia Polytechnic, Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: dvmis@ukr.net

Purpose. Evaluation of the influence of alloying elements of corrosion-resistant steel 03X17H3Г9МБДЮЧ on the phase composition and indicators of high-temperature corrosion.

Research methods. In order to check the effect of the chemical composition on the structure of steel 03X17H3Г9МБДЮЧ, laboratory steels were made. The production of these steels was carried out in an induction furnace with a main lining with a capacity of 50 kg. The resulting castings were forged into blanks 40 × 80 × 100 mm in size, with subsequent hot rolling into samples 25, 20, and 15 mm thick. Determination of the yield strength of steels was carried out after exposure at a temperature of 850 °C for 10,000 hours. The corrosion resistance of the test samples was determined by the gravimetric method after the samples were completely immersed in molten magnesium.

Results. The choice of the main alloying elements was justified and their influence on durability in the aggressive environment of the recovery process of spongy titanium production was determined. A thermodynamic calculation of the changed Gibbs energy in the operating temperature range was performed. The required phase ratio of 03X17H3Г9МБДЮЧ steel was considered and selected based on Scheffler de Long and Potak-Sahalevich diagrams.

Scientific novelty. The effect of changing the chemical composition of steel 03X17H3Г9МБДЮЧ within technical conditions on the creep limit and durability in the aggressive environment of the recovery process of the production of spongy titanium was determined.

Practical value. It is shown that the alloying complex of corrosion-resistant steel is capable of significantly improving the physical, mechanical and technological properties, and expanding the functional application (purpose).

Key words: corrosion-resistant steel, alloying elements, spongy titanium, austenite, martensite, ferrite, creep, durability.

References

1. Stainless steel grades. – Available at: <https://www.outokumpu.com/products>
2. AvestaWelding. – Available at: <http://www.kskct.cz/images/materialy/en/avesta.pdf>
3. Myshchenko, V. H., Tverdokhle, S. V., Omelchenko O. S. (2004). Razvytye razrusheniya apparatov vosstanovleniya y prymesy v hubchatom tytane [Development of apparatus destruction, recovery and impurities in titanium sponge]. *Visnyk dvyhunobuduvannya*, 3, 135–137 [in Russian].
4. Akio Fuwa, Satoru Takaya (2005). Producing titanium by reducing $TiCl_2 - MgCl_2$ mixed salt with magnesium in the molten state. *JOM Journal of the Minerals, Metals and Materials Society*, 57, 10, 56–60.
5. Myshchenko, V.H., Yevsieieva, N.A. (2009). Analiz fyzyko-khymycheskoho vzaymodeistviya komponentov staly so sredoi vosstanovytelnogo protsessa polucheniya tytana [Analysis of the physicochemical interaction of steel components with the environment of the reduction process of titanium production]. *Visnyk dvyhunobuduvannya*, 2, 120–122 [in Russian].
6. Chervonyi, Y.F., Maslennykov, A.N., Sorokyna, L.V., Yvashchenko, V.Y. (2008). Prymesnye elementy v poverkhnostnykh sloiakh bloka hubchatoho tytana [Impurity elements in the surface layers of a block of sponge titanium]. *Ti-2008 v SNH : sb. trudov mezhdunar. konf.*, 18–21 maia 2008 h., Kyiv, National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Metal Physics, 183–186 [in Russian].
7. Chervonyi, Y.F., Yvashchenko, V.Y., Lystopad, D.A. (2007). O razrusheniy materyala retorty v protsesse [On the destruction of the retort material during the reduction of titanium tetrachloride]. *Tytan*, 1, 9–14.
8. De Long W. T. (1974) Ferrite in austenitic stainless steel weld metal. *Welding Journal*, 53, 273–286.
9. Dyahrammy sostoiannya dvoynykh metalycheskykh system : Spravochnyk [Phase diagrams of binary metallic systems: Handbook] (1997). Ed. N.P. Liakysheva. Moscow, Mashynostroenye, 1024 [in Russian].
10. Potak, Ya. M., Sahalevych, E.A. (1974). Strukturnaia dyahramma deformyruemykh nerzhavieushchykh staley [Structural diagram of wrought stainless steels]. *Metallovedenye y termycheskaia obrabotka metallov*, 9, 12–16 [in Russian].
11. Patent 100650 Ukraine. MPK S 22 S 38/02. Zharomitsna koroziiinostiika stal [Zharomitsynaya corrosion-resistant steel] / V.H. Mishchenko, N.O. Yevsieieva, O.P. Liutyi [et al.] – № 100650 ; zaiavl. 17.02.12 ; opubl. 10.01.13, 1, 4 [in Ukrainian].