

Volodymyr Kropivnyy, Prof., Ph.D tech. sci., **Mykola Bosii**, Sen. Lect., **Olexandr Kuzyk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Olena Kropivnaya**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Thermodynamic Processes During Crystallization and Formation of Segregation in High-strength Cast Iron Castings

The purpose of this work is to clarify the role of Gibbs energy accounting in crystallization and formation of liquidation in modified high-strength cast iron.

The article presents the calculation of the interfacial distribution coefficients of silicon and manganese between austenite and the liquid phase of the alloy. The obtained dependence of the relationship between the distribution coefficient of the third element X_i and the temperature change of the austenitic-graphite eutectic for the systems Fe-C- X_i ($X_i = \text{Mn, Si}$). It is shown that silicon concentrates in austenite and liquor in the center of dendrites. In this case, manganese is concentrated in liquid and liquor to the periphery of the dendrite. The role of Gibbs energy change in the redistribution of silicon and manganese between a liquid and austenite is substantiated. It is revealed that element saturate the phase, whose Gibbs energy decreases more strongly from the impurity of the element. This leads to a decrease in the Gibbs energy of the entire system and determines the magnitude of the distribution coefficient of silicon and manganese between the phases.

The nature of the Gibbs energy change is found to determine the direction of the redistribution of silicon and manganese between liquid and austenite. Silicon or manganese is also saturated with a phase whose Gibbs energy decreases more strongly from one of these elements. It has been shown that silicon concentrates in austenite and eliminates in the center of the dendrite while manganese concentrates in the liquid and eliminates the periphery of the dendrite.

high-duty cast iron, spherical graphite, crystallization, segregation, phase, distribution

Одержано (Received) 23.05.2019

Прорецензовано (Reviewed) 30.05.2019

Прийнято до друку (Approved) 04.06.2019

УДК 620.194; 621.193

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.1\(32\).86-93](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.1(32).86-93)

Г.В.Чумало, канд. техн. наук, ст.нак. співр., **М.М. Студент**, д-р техн. наук, **Б.М. Дацко**, мол. наук. співр., **В.М. Гвоздецький**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.

Фізико-механічний інститут ім.Г.В.Карпенка НАН України, м. Львів, Україна

e-mail: gchumalo@ipm.lviv.ua; e-mail: student-m-m@ipm.lviv.ua

С.І. Маркович, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна

e-mail: markob0@ukr.net

Дослідження ефективності антикорозійних покриттів конструктивних елементів на основі цинку та алюмінію в хлоридно–сульфідних середовищах

Для встановлення можливості захисту сталей від сірководневої корозії та корозійного розтріскування досліджено покриття цинкові, нанесені методом гарячого цинкування, металізаційні алюмінієві, нанесені методом електродугового напилення та комбіновані - металізаційні алюмінієві + епоксидне в середовищах різної агресивності.

Показано, що нанесення цинкового покриття на сталь 20 підвищує корозійну тривкість в середньому в 1,5 рази у модельній морській воді (ММВ) без сірководню та майже у 2 рази у ММВ, насиченій сірководнем порівняно з такою для сталі 20 без покриття. У середовищі НАСЕ корозійна

© Г.В.Чумало, М.М. Студент, Б.М. Дацко, В.М. Гвоздецький, С.І. Маркович, 2019

тривкість зразків з цинковим покриттям різко знижується, що свідчить про недоцільність використання таких покриттів у кислих середовищах. Зразки з алюмінієвими покриттями показали високу корозійну тривкість у ММВ з різним вмістом сірководню та розчині NACE: швидкість корозії сталі з алюмінієвим покриттям знижується в $\sim 7,3$ рази у ММВ, насиченій сірководнем, та в $\sim 1,7$ рази у розчині NACE, порівняно зі швидкістю корозії сталі без покриття. Дослідження схильності до корозійного розтріскування показали, що зразки з алюмінієвим покриттям показали вищу опірність до сірководневого корозійного розтріскування ніж зразки без покриття. А зразки з комбінованим покриттям (металізаційне алюмінієве + Jotamastic 87GF) показали кращі захисні властивості, ніж зразки лише з алюмінієвим покриттям.

Алюмінієві покриття, нанесені методом електродугового напилення на сталь 20 та комбіновані можна рекомендувати для захисту металевих поверхонь в сірководневих середовищах різної агресивності.

покриття, гаряче цинкування, електродугове напилення, сірководень, швидкість корозії, корозійне розтріскування

Г.В.Чумало, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., **М.М. Студент**, д-р техн. наук, **Б.Н. Дацко**, мл. научн. сотр., **В.Н. Гвоздецкий**, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.

Физико-механический институт им. Г.В. Карпенко НАН Украины, г.Львов, Украина

С.И. Маркович, доц., канд. техн. наук

Центральнoукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Украина

Исследование эффективности покрытий на основе цинка и алюминия в хлоридно-сульфидных средах

Для установления возможности защиты сталей от сероводородной коррозии и коррозионного растрескивания исследованы покрытия цинковые, нанесенные методом горячего цинкования, металлизационные алюминиевые, нанесенные методом электродугового напиления и комбинированные - металлизационные алюминиевые + эпоксидное в средах различной агрессивности. Показано, что нанесение цинкового покрытия на сталь 20 повышает коррозионную стойкость в среднем в 1,5 раза в модельной морской воде (ММВ) без сероводорода и почти в 2 раза в ММВ, насыщенной сероводородом по сравнению с таковой для стали 20 без покрытия. В среде NACE коррозионная стойкость образцов с цинковым покрытием резко снижается, что свидетельствует о нецелесообразности использования таких покрытий в кислых средах. Образцы с алюминиевыми покрытиями показали высокую коррозионную стойкость в ММВ с различным содержанием сероводорода и растворе NACE: скорость коррозии стали с алюминиевым покрытием снижается в $\sim 7,3$ раза в ММВ, насыщенной сероводородом и в $\sim 1,7$ раза в растворе NACE по сравнению со скоростью коррозии стали без покрытия. Исследование склонности к коррозионному растрескиванию показали, что образцы с алюминиевым покрытием показали большую сопротивляемость к сероводородному коррозионному растрескиванию чем образцы без покрытия. А образцы с комбинированным покрытием (металізаційне алюмінієве + Jotamastic 87GF) показали лучшие защитные свойства, чем образцы только с алюминиевым покрытием. Алюминиевые покрытия, нанесенные методом электродугового напилення на сталь 20 и комбинированные можно рекомендовать для защиты металлических поверхностей в сероводородных средах различной агрессивности.

покрытие, горячее цинкование, электродуговое напиление, сероводород, скорость коррозии, коррозионное растрескивание

Постановка проблеми. Термін служби металевих конструкцій в умовах навколишнього середовища часто досить короткий. Продовжити його можна в основному чотирма способами, які широко використовуються на практиці. До них відносяться: ізоляція поверхні конструкції від контакту із агресивним середовищем, використання корозійно-стійких матеріалів, вплив на навколишнє середовище з метою зниження його агресивності, застосування електрозахисту підземних металевих споруд.

Дослідження ефективності різних методів протикорозійного захисту металів у сірководневих середовищах є актуальним для газонафтовидобувної промисловості та для будівництва морських платформ на шельфі Чорного моря.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування захисного шару на металевих об'єктах – найбільш поширений метод. Для захисту від морської корозії дуже часто використовують металеві захисні покриття. Найпоширеніше – цинкове [1,2]. Його можна використовувати як самостійне захисне покриття, так і як основу під фарбування. Метод гарячого цинкування найбільш поширений для захисту заліза та

його сплавів і полягає у зануренні металу в розплав цинку при 440-600°C. Під час цинкування покривається як зовнішня, так і внутрішня поверхня деталей. Товщина покриття складає 60 - 100 мкм. Термін служби оцинкованого металу може складати від 20 до 65 років залежно від товщини покриття і агресивності навколишнього середовища.

Протикорозійні протекторні покриття на основі алюмінію стали активніше застосовувати для захисту від корозії в 80-90-х роках минулого століття, що регламентувалось стандартами ISO 2064 [3] та ISO 2178 [4]. В основному покриття використовувалися для захисту трубопроводів, мостів, різних сталевих конструкцій. Найбільш поширеним методом нанесення алюмінієвих покриттів є електродугове напилення [5-7]. У промислових і морських умовах швидкість корозії алюмінію приблизно в три рази менша від швидкості корозії цинку, причому корозія зменшується з часом завдяки утворенню на алюмінії щільної плівки оксидів з високими бар'єрними властивостями і адгезією. Використання протекторних покриттів для магістральних трубопроводів були включені в ГОСТ Р51164 [8].

Світовий досвід захисту бурових платформ [9] свідчить про можливість використання електрометалізаційного алюмінієвого покриття в поєднанні з полімерним. Зокрема, платформа Hutton TLP встановлена в британському секторі Північного моря з покривом, газотермічно напиленим алюмінієм та поліуретановим просоченням. Через десять років експлуатації покриття не пошкодилось навіть у зоні перемінного змочування. Найбільш масштабним застосуванням газотермічно напилених покриттів став захист від корозії платформи Troll, розрахованої на 50 років експлуатації. Були захищені всі елементи платформи. Загальна площа Al та AlMg покриттів склала понад 100 тис. м².

З огляду на високі захисні властивості компанія Copaso та інші газовидобувні компанії рекомендують використання алюмінієвих газотермічних покриттів для структур в Північному морі та Мексиканській затоці [10].

Постановка завдання. мета роботи – дослідити ефективність захисних покриттів: гарячого цинкового, металізаційного алюмінієвого та комбінованого металполімерного: металізаційного алюмінієвого з епоксидним покриттям для можливого захисту від сірководневої корозії.

Виклад основного матеріалу. Досліджували покриття цинкові, нанесені методом гарячого цинкування, металізаційні алюмінієві та комбіновані металполімерні: металізаційні алюмінієві, з епоксидним покриттям Jotamastic 87 GF виробництва норвезької фірми Jotun ($\delta = 700 \mu\text{m}$).

Цинкові покриття наносили шляхом занурення зразків зі сталі 20 в розплав цинку за температури 590° С. Товщина покриття складала 100 ± 10 мкм.

Алюмінієві покриття наносили на зразки зі сталі 20 методом електродугового напилення ($U = 30\text{В}$; $I = 150 \text{ А}$; тиск повітря 0,6 МПа; відстань до зразка 150 мм). Товщина покриття 200 ± 10 мкм.

Покриття виробництва норвезької фірми Jotun – Jotamastic 87 GF- це двохкомпонентне, абразиво стійке епоксидне покриття серії Mastic з додаванням скляних лусочок, що покращує його абразивну стійкість та міцність; використовується разом із затверджувачем у масовому співвідношенні 6:1. Jotamastic 87 GF можна використовувати як самостійне покриття, так і разом з різними ґрунтами та фінішними покриттями. Наносили пензликом два шари епоксидного покриття товщиною по 250 мкм кожен на металізаційне алюмінієве покриття.

Використовували стандартний розчин NACE (5% NaCl + 0,5% CH₃COOH, насичення H₂S, рН 3...4, 22+3°C) та цей самий розчин без сірководню; модельну

морську воду (ММВ): 3%-й розчин морської солі (mass.%): $\leq 86,5 \text{ NaCl} \leq 1,5 \text{ Ca}^{2+}$; $\leq 2,0 \text{ Mg}^{2+}$; нерозчинні у воді речовини $\leq 3,0\%$; ММВ з вмістом 15 мг/л сірководню та насичену ним. Корозійну тривкість покриттів вивчали масометричним методом [11]. Довготривалу корозійну міцність циліндричних зразків $\varnothing 6,4 \text{ mm}$ з нанесеним на робочу частину покриттям – згідно зі стандартом NACE [12] та МР 185-86 [13] на установках Zst 3/3 під статичним одновісним навантаженням. Критерій опірності сірководневому корозійному розтріскуванню – порогове напруження $\sigma_{\text{пор.}}$, нижче від якого зразки не руйнувалися за бази випробувань 720 год.

У ММВ за відсутності сірководню корозійна тривкість зразків з цинковим покриттям є вищою в середньому в 1,5 рази від корозійної тривкості зразків без покриття. При насиченні ММВ сірководнем, корозійна тривкість зразків з цинковим покриттям зростає у 2 рази порівняно з такою для зразків зі сталі 20 без покриття. У середовищах менш агресивних – ММВ з вмістом сірководню 150 мг/л; 75 мг/л; 15 мг/л швидкість корозії знижується із зменшенням концентрації сірководню і складає відповідно $0,054 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год.}$; $0,039 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год.}$; $0,026 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год.}$

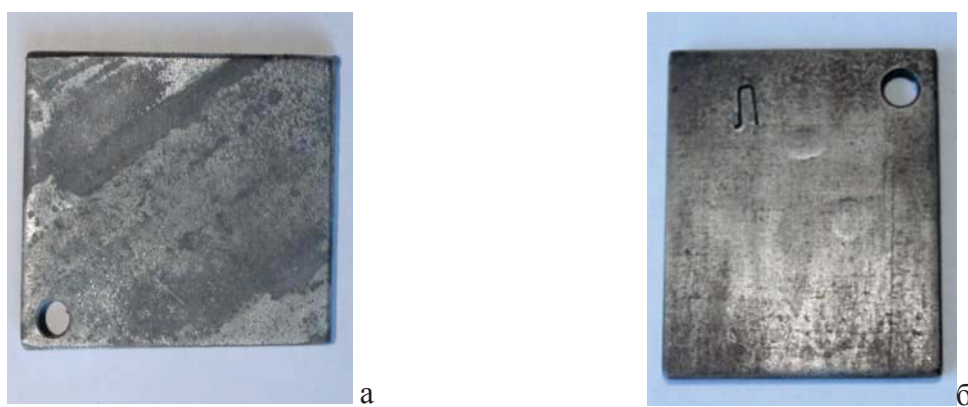


Рисунок 1 - Зовнішній вигляд зразків з цинковим покриттям (а) та без покриття після витримки протягом 15 діб у морській воді, насиченій сірководнем

Джерело: розроблено автором

У ММВ, насиченій сірководнем, сталь 20 зазнала пухиріння, а зразок з цинковим покриттям практично втратив зовнішній цинковий шар. У середовищі NACE корозійна тривкість зразків з цинковим покриттям різко знижується і вже через добу спостерігається відшарування цинкової плівки, що свідчить про недоцільність використання таких покриттів у кислих середовищах.

Зразки з алюмінієвими покриттями показали високу корозійну тривкість у всіх випробувальних середовищах.

Довготривалі випробування показали, що швидкість корозії сталі з алюмінієвим покриттям знижується в $\sim 7,3$ рази у ММВ, насиченій сірководнем, та в $\sim 1,7$ рази у розчині NACE, порівняно зі швидкістю корозії сталі без покриття. Покриття не змінилося навіть після 720 годинної витримки у ММВ, насиченій сірководнем, та розчині NACE. Отже, сірководень не суттєво впливає на швидкість корозії цих зразків (рис. 2, 3).

Випробування в середовищі NACE та цьому ж розчині без сірководню виявили практично однакову швидкість корозії впродовж всього періоду випробувань: $0,2375$ та $0,2252 \text{ г/(м}^2 \cdot \text{год.)}$ відповідно.

Зовнішній вигляд зразків з алюмінієвим покриттям, витриманих у середовищах різної агресивності підтверджують високу корозійну тривкість цього покриття (рис.3).

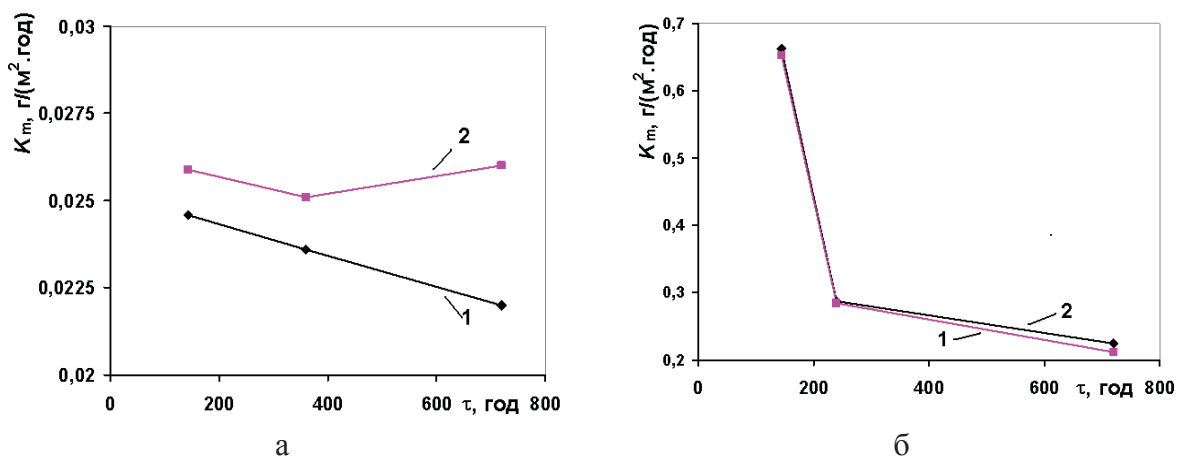


Рисунок 2 - Корозійна тривкість зразків з алюмінієвим покритвом у ММВ (а) та у розчині 5% NaCl + 0,5% CH_3COOH (б): 1 – $C_{\text{H}_2\text{S}} = 0$; 2 – насичення H_2S

Джерело: розроблено автором



Рисунок 3 - Зовнішній вигляд зразків з алюмінієвим покриттям після витримки протягом 30 діб у ММВ(а); ММВ, насичений сірководнем (б) та розчині NACE (в)

Джерело: розроблено автором

Дослідження схильності до корозійного розтріскування показали, що після нанесення алюмінієвого покриття зразки не руйнуються в розчині NACE за $\sigma = 232$ МПа ($0,8\sigma_{0,2}$ сталі 20) упродовж бази випробувань. Порогові напруження для сталі без покриття у ММВ, насиченій сірководнем, та середовищі NACE становлять відповідно $0,7\sigma_{0,2}$ та $0,6\sigma_{0,2}$. Отже, зразки з алюмінієвим покриттям показали вищу опірність до сірководневого корозійного розтріскування ніж зразки без покриття.

Зразки з комбінованим покриттям (металізаційне алюмінієве + Jotamastic 87GF) витримали базу випробувань за напружень $0,9\sigma_{0,2}$ основного металу у ММВ, насиченій сірководнем та розчині NACE. Тобто комбіноване покриття виявило кращі захисні властивості, ніж тільки алюмінієве.

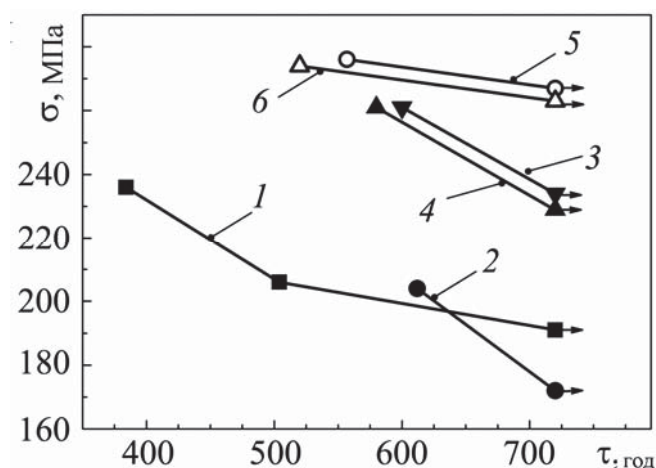


Рисунок 4 - Опірність корозійному розтріскуванню зразків зі сталі 20 без покриття (криві 1, 2); з алюмінієвим покриттям (3, 4) і з комбінованим: металізаційне алюмінієве + епоксидне Jotamastic 87GF (5, 6); 1, 3, 5 – ММВ + H₂S; 2, 4, 6 – розчин NACE

Джерело: розроблено автором

Виходячи з отриманих результатів досліджень алюмінієвих покриттів, нанесених методом електродугового напилення на сталь 20 та комбінованих можна рекомендувати їх для захисту металевих поверхонь в сірководневих середовищах різної агресивності.

Висновки:

1. Встановлено, що у ММВ за відсутності сірководню корозійна тривкість зразків з цинковим покриттям є вищою в середньому в 1,5 рази від корозійної тривкості зразків без покриття. При насиченні ММВ сірководнем, корозійна тривкість зразків з цинковим покриттям зростає у 2 рази порівняно з такою для зразків зі сталі 20 без покриття. У середовищах менш агресивних – ММВ з вмістом сірководню 150 мг/л; 75 мг/л; 15 мг/л швидкість корозії знижується із зменшенням концентрації сірководню і складає відповідно 0,054 г/м²·год.; 0,039 г/м²·год.; 0,026 г/м²·год. У середовищі NACE корозійна тривкість зразків з цинковим покриттям різко знижується і вже через добу спостерігається відшарування цинкової плівки, що свідчить про недоцільність використання таких покриттів у кислих середовищах.

2. Показано, що зразки з алюмінієвими покриттями мають високу корозійну тривкість у ММВ з різним вмістом сірководню та розчині NACE: швидкість корозії сталі з алюмінієвим покриттям знижується в ~7,3 рази у ММВ, насиченій сірководнем, та в ~1,7 рази у розчині NACE, порівняно зі швидкість корозії сталі без покриття. Покриття не змінилося навіть після 720 годинної витримки у ММВ, насиченій сірководнем, та розчині NACE.

2. Встановлено, що зразки з алюмінієвим покриттям показали вищу опірність до сірководневого корозійного розтріскування ($\sigma_{\text{пор}} = 0,8\sigma_{0,2}$ сталі 20) ніж зразки без покриття ($0,6\sigma_{0,2}$ та $0,7\sigma_{0,2}$ сталі 20 у ММВ, насиченій сірководнем, та середовищі NACE відповідно).

3. Зразки з комбінованим покриттям (металізаційне алюмінієве + Jotamastic 87GF) показали кращі захисні властивості, ніж зразки лише з алюмінієвим покриттям. Порогові напруження складають $\sigma_{\text{пор}} = 0,9 \sigma_{0,2}$ сталі 20 у ММВ, насиченій сірководнем, та середовищі NACE відповідно.

4. Алюмінієві покриття, нанесені методом електродугового напилення на сталь 20 та комбіновані можна рекомендувати для захисту металевих поверхонь в сірководневих середовищах різної агресивності.

Список літератури

1. Соголовская А.Г., Эйчис А.П. Прогрессивные методы горячего цинкования. Киев: Техника, 1967. 124с.
2. Смирнов А.В. Горячее цинкование. Москва:Металлургия. 1953. 289с.
3. ISO 2064: 1996. Metallic and other non-organic coatings - Definitions and conventions.
4. ISO 2178 : 2016. Non-magnetic coatings on magnetic substrate's.
5. Andrewsm D. R. The Protection of Iron and Steel by Aluminium Coatings . Metallurgia, Manchr., 1960. Vol. 62. P. 153.
6. Metallizing: Aluminium and Zinc Spraying, DTD 906B.
7. Електродугові відновні та захисні покриття / В.І. Похмурський та ін. Львів, Національна академія наук України; Фізико – механічний інститут ім. Г.В. Карпенка. 2005. 192.
8. ГОСТ Р 51164-98. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии» (пункт 4.7: Алюминиевые и цинковые покрытия для защиты от коррозии трубопроводов, транспортирующих газ, нефть и нефтепродукты). [Действующий от 01.07.1999]. ИПК Издательство стандартов. 1998. 42 (Госстандарт России).
9. Bland J. Corrosion Testing of Flame-Sprayed Coated Steel – A 19 Year Report. – Miami, FL: American Welding Society, 1974.
10. Conoco Norway Inc., P.O. Box 488, N-4001, Stavanger, Norway.
11. Коррозия: справ. изд. / Под. ред. Л. Л. Шрайера: Пер. с англ. Москва: Metallurgia, 1981. 632 с.
12. NACE Standard MR-0175-96. Standard Material Requirements Sulfide Stress Cracking Resistance Metallic Materials for Oilfield Equipment. – Houston, Tx.: National Association of Corrosion Engineers (NACE), 1996. 30 p.
13. Расчеты и испытания на прочность. Методы испытаний на склонность к коррозионному растрескиванию сталей и сплавов в жидких средах. Методические рекомендации МР 185-86. Москва: ВНИИНМАШ, 1986. 52 с.

Referencis

1. Sogolovskaja, A.G. & Jejchis, A.P. (1967). Progressivnyye metody gorjacheho cinkovaniya [Progressive Hot Dip Galvanizing]. Kiev: Tehnika [in Russian].
2. Smirnov, A.V. (1953). Gorjachee cinkovanie [Hot galvanizing]. Moskow: Metallurgija [in Russian].
3. ISO 2064: 1996. Metallic and other non-organic coatings - Definitions and conventions [in English].
4. ISO 2178 : 2016. Non-magnetic coatings on magnetic substrate's. [in English].
5. Andrewsm, D.R. (1960). The Protection of Iron and Steel by Aluminium Coatings. Metallurgia, Manchr. Vol. 62, 153 [in English].
6. Metallizing: Aluminium and Zinc Spraying, DTD 906B. [in English].
7. Pokhmurs'kyj, V.I., Student, M.M., Dovhnyuk, V.M., Pokhmurs'ka, H.V. & Sydorak, I.J. (2005). *Elektroduhovi vidnovni ta zakhysni pokryttia [Electric arc restoration and protective coatings]*. L'viv, Natsional'na akademiia nauk Ukrainy, Fyzyko – mekhanichnyj instytut im. H.V. Karpenka [in Ukrainian].
8. Truboprovody stal'nye magistral'nye. Obshhie trebovaniya k zashhite ot korrozii» (punkt 4.7: Aljuminievye i cinko-vye pokrytija dlja zashhity ot korrozii truboprovodov, transportirujushhij gaz, nef' i nefteprodukty) [Steel pipe mains. General requirements for corrosion protection]. *HOST R 51164-98 from 1 July 1999*. Moskow: IPK Izdatel'stvo standartov [in Russian].
9. Bland, J. (1974). Corrosion Testing of Flame-Sprayed Coated Steel – A 19 Year Report. – Miami, FL: American Welding Society [in English].
10. Conoco Norway Inc., P.O. Box 488, N-4001, Stavanger, Norway[in English].
11. L. L. Shrajera (Eds.). (1981). Korrozija: sprav. izd. (Trans). Moskow: Metallurgija [in Russian].
12. Standard Material Requirements Sulfide Stress Cracking Resistance Metallic Materials for Oilfield Equipment. (1996). *NACE Standard MR-0175-96*. Houston, Tx.: National Association of Corrosion Engineers (NACE) [in English].
13. Raschety i ispytaniya na prochnost'. Metody ispytaniy na sklonnost' k korrozion-nomu rastreskivaniju stalej i spлавov v zhidkih sredah [Calculations and strength tests. Test methods for the tendency to corrosion cracking of steels and alloys in liquid media]. (1986). *Metodicheskie rekomendacii MR 185-86*. Moskow: VNIINMASH [in Russian].

Halyna Chumalo, PhD tech. sci., Senior Researcher, **Bohdan Datsko**, Junior Researcher, **Mykhajlo Student**, DSc., **Volodymyr Hvozdet'skii**, PhD tech. sci., Senior Researcher
Karpenko Physico-Mechanical Institute of NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine
Sergiy Marcovych, PhD tech. sci

Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitskiy, Ukraine

Investigation of the Effectiveness of Coatings on the Basis of Zinc and Aluminum in Chloride-sulfide Media

The aim of the study is to investigate the effectiveness of protective coatings: hot galvanizing, metallization aluminum and combined metal polymer: metallization aluminum with epoxy coating for possible protection against hydrogen sulfide corrosion.

To determine the possibility of protection steels from hydrogen sulfide corrosion and corrosion cracking, zinc coatings, applied with hot dip galvanizing, metallized aluminum coatings, applied by electro-arc spraying and combined metallization aluminum + epoxy in media of different aggressiveness were investigated. It is shown that the application of zinc coating on 20 steel increases the corrosion resistance on average in 1.5 times in model sea water (MSW) without hydrogen sulfide and almost in 2 times in the MSW saturated with hydrogen sulfide compared with that for non-coated 20 steel. In the NACE solution, the corrosion resistance of samples with zinc coating is sharply reduced, which indicates the inexpediency of the use of such coatings in acidic environments. Examples of aluminum coatings showed high corrosion resistance in MSW with different content of hydrogen sulfide and in NACE solution: the corrosion rate of steel with aluminum coating is reduced in ~7.3 times in the MSW saturated with hydrogen sulfide and in ~1.7 times in NACE solution compared to the corrosion rate of steel without coating.

Investigation of the susceptibility to stress corrosion cracking showed that samples with an aluminum coating showed higher resistance to hydrogen sulfide stress corrosion cracking than samples without coating. And samples with a combined coating (metallic aluminum + Jotamastic 87GF) showed better protective properties than samples with aluminum coating. Aluminum coatings applied by the method of electric arc spraying on 20 steel and combined coatings can be recommended for the protection of metal surfaces in hydrogen sulfide media of different aggressiveness.

coating, hot galvanizing, electric arc spraying, hydrogen sulfide, corrosion rate, corrosion cracking

Одержано (Received) 20.11.2018

Прорецензовано (Reviewed) 05.02.2019

Прийнято до друку (Approved) 04.06.2019

УДК 553.04

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.1\(32\).93-102](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.1(32).93-102)

В.М. Кропівний, проф., канд. техн. наук, **Л.А. Молокост**, викл., **О.В. Кузик**, доц., канд. техн. наук, **А.В. Кропівна**, доц., канд. техн. наук

Центральнoукраїнський національний технічний університет, м. Крoпівницький, Україна
e-mail: Ljudmila.Molokost1967@gmail.com

Порівняльна промислова оцінка графітових родовищ та руд України, характеристика збагачення руд

В статті розглянуто основні родовища графіту в Україні, методи збагачення графітових руд в залежності від ступеню їх фізико-хімічних змін, зроблено порівняльну промислову оцінку родовищ та визначені найбільш перспективні для освоєння об'єкти.

На прикладі трьох найбільших родовищ графіту Українського щита розглянута проблема збагачення графітових руд, а також принципи їх поділу на промислові типи, дана характеристика графітовим рудам і властивостям графіту, застосування графіту в промисловості. Властивості цього мінералу дозволяють використання його, як і вуглецю в цілому, у всіх галузях народного господарства, науки та техніки. Основні галузі застосування природного графіту: - металургія (виробництво тиглів, ливарних форм, вогнетривів, протипригарних фарб); - нафтогазова галузь; - електрохімія; - машинобудування, авіаційна та космічна техніка (гальмівні колодки і накладки, самозмащувальні механічні частини – підшипники і вклади). Визначені особливості кон'юнктури ринку графіту, що передбачає аналіз динаміки видобутку, виробництва, споживання мінеральної сировини в Україні та світі.

графіт, графітові родовища, якість, запаси, збагачення руд

© В.М. Кропівний, Л.А. Молокост, О.В. Кузик, А.В. Кропівна, 2019