

UOT: 620.193:620.197.3

**İMİDAZOLİDİNTİONAMİDİN CO₂ SAXLAYAN SULU MÜHİTDƏ YUMŞAQ
POLADIN KORROZİYASINA İNHİBİTORLUQ TƏSİRİ****N.İ. Mürsəlov**

AMEA Y.Məmmədəliyev adına Neft Kimya Prosesləri İnstitutu
AZ 1025 Bakı ş., Xocalı pr. 30; e-mail: nizamimursalov@mail.ru

Redaksiyaya daxil olub 05.04.2018

Tiokarbamid və trietilentetraminin 180°C temperaturda azot mühitində reaksiyasından alınmış 1-(2-((2-aminetil)-amin)-etil)-imidazolidin-2-tion və Balaxanı neftindən ayrılmış parafin-izoparafin qarışığından alınmış sintetik naften turşuları qarışığı əsasında imidazolidintionamid birləşməsi sintez edilmişdir. Alınmış imidazolidintionamidin CO₂ mühitində C1018 markalı poladın korroziya prosesinə təsir effekti tədqiq edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, imidazolidintionamidin 25 və 50 ppm qatılıqlarında mühafizə effekti müvafiq olaraq 96 və 98% olur. İmidazolidintionamidin müxtəlif qatılıqlarında C1018 markalı poladın polyarizasiya əyrilərinin analizi göstərir ki, imidazolidintionamid poladın həm anod, həm də katod prosesini ləngidir. İmidazolidintionamidin adsorbsiya enerjisini -40 kC / mol⁻¹-dən aşağı olması onun metal səthində kimyəvi adsorbsiya etdiyini göstərir. Metal səthinin skanedici elektron mikroskopiyaya üsulu ilə analizi göstərir ki, CO₂ mühitində imidazolidintionamidin iştirakında metal səthdə mikroçatlar və korroziya yaraları görsənir.

Açar sözlər: CO₂ mühitində korroziya, korroziya inhibitoru, polyarizasiya, adsorbsiya enerjisi

GİRİŞ

Neft və qaz yataqlarında karbon dioksid və suyun iştirakında karbonlu poladdan hazırlanmış boru kəmərlərinin yüksək korroziya sürəti neft-qaz sənayesi üçün ciddi problemdir. Karbonlu polad materialdan hazırlanmış boru kəmərlərinin karbon qazı, hidrogen-sulfid və digər aqressiv komponentlərin təsiri ilə baş verən korroziya prosesinin qarşısının alınmasının, xüsusən borunun daxili hissələrinin korroziyadan qorunmasının ən effektiv üsullarından biri üzvi korroziya inhibitorlarının tətbiq olunmasıdır [1-8]. Daha çox istifadə olan turş mühit inhibitorları tərkibində azot, kükürd və oksigen saxlayan üzvi birləşmələrdir. Üzvi korroziya inhibitorlarından azotlu birləşmələr – amidlər, aminlər, imidazollar, imidazolin törəmələri, daha geniş istifadə olunur. Üzvi birləşmələrin müxtəlif metalların həll olmasına inhibitorluq təsiri metal səthi və inhibitor arasında adsorbsiya hesabına qarşılıqlı təsirin olması ilə əlaqədardır [9-13]. Bir sıra tədqiqatlara görə imidazolin törəmələrinin

korroziyadan mühafizə mexanizmi onların quruluşlarında metal səthi ilə qarşılıqlı təsirdə olan üç əsas hissə ilə bağlıdır: “baş”, “yan” və “quyruq” hissələr [14-16]. İmidazolinin “baş” hissəsi olan imidazolin halqası azot atomlarının elektron cütü hesabına metal səthi ilə əlaqə yaradır. “Yan” hissə alkilamin əvəzedicidir və metal səthində imidazolin halqasının adsorbsiyasına kömək edir. İmidazolinin “quyruq” hissəsi imidazolin zəncirinə birləşmiş uzun hidrofob xassəli alkil zənciridir. Bir sıra hallarda üzvi birləşmələrin adsorbsiya qabiliyyəti onların tərkibində olan azot, kükürd və oksigen atomlarının aktiv adsorbsiya mərkəzlərinin təsiri ilə əlaqədardır. Yaxşı inhibitor bir sıra üstünlüklərə - yüksək inhibitorluq xassəsinə, ucuz qiymətə, az zəhərliliyə və sadə istehsal texnologiyasına malik olmalıdır.

Azərbaycanda neft-qaz sənayesi ölkə üçün qiymətli məhsul və gəlir verən mühim sahədir. Yüksək effektiv üzvi korroziya inhibitorlarının işlənilib hazırlanması bu sahənin

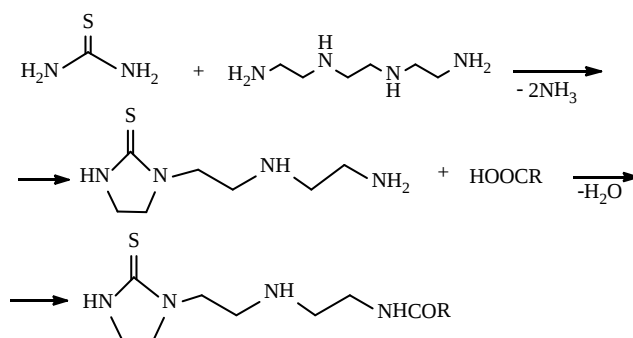
iqtisadi səmərəliliyində vacib rol oynayır. Bu işin məqsədi imidazolin törəmələrinin sintezi

və onların yumşaq poladın korroziyasına inhibitorluq təsirini öyrənməkdən ibarətdir.

TƏCRÜBİ HİSSƏ

Korroziyaya qarşı inhibitorluq xassəsinə malik imidazolidintion törəməsinin sintezi üçün tiokarbamid, trietilentetramin və Balaxanı neftindən ayrılmış parafin-izoparafin qarışığının Cr və Ni naftenat katalizatoru iştirakında oksidləşməsindən alınan sintetik neft turşuları (SNT) qarışığı götürülmüşdür. Sintez reaksiyası iki mərhələdə aparılmışdır. Birinci mərhələdə tiokarbamid və trietilentetraminin 180°C temperaturda 5 saat müddətində azot mühitində reaksiyası aparılmış və sxem 1 üzrə 1-(2-((2-aminetil)-amin)-etil)-imidazolidin-2-tion birləşməsi sintez edilmişdir (Sxem 1). İkinci mərhələdə

sintez edilmiş 1-(2-((2-aminetil)-amin)-etil) -imidazolidin-2-tionun SNT qarışığı ilə 140°C-də 2.5 saat müddətində reaksiyasından 87% çıxımla tünd qəhvəyi rəngli imidazolidin-2-tionun amidləri qarışığı alınır. Reaksiyanın gedisinin ümumi sxemi aşağıda (sxem 1) verilmişdir. Sintez olunmuş tioimidazolidintionamid birləşmələri qarışığının yumşaq poladın korroziyasına elektrokimyəvi təsiri CO₂ mühitində Gill AC potensiometrinin köməyi ilə tədqiq olunmuşdur. Gill AC potensiometri (Serial №1197) ACM şirkətinin (İngiltərə) istehsalıdır



Sxem 1. İmidazolidintionamidin sintezi reaksiyalarının sxemi

və Core Running proqramı ilə təchiz olunmuşdur. Core Running proqramı korroziya cərəyanını (mA/sm²) korroziya sürətinə (mm/il) çevirir. C1018 markalı yumşaq poladdan hazırlanmış silindrik material həm işçi elektrod, həm də müqayisə elektrodu kimi istifadə olunmuşdur. Sequenser standart proqramı ilə təmin edilmiş Gill AC potensiometri dəyişkən və sabit cərəyan şiddətini ölçür. Prosesin davam etmə müddəti proqrama verilən vaxtdan asılıdır. Daha sonra potensiometr hər 15 dəqiqədən bir qeyd etdiyi nəticələri Core Running proqramı vasitəsi ilə təmin edilmiş kompüterə ötürür. Xüsusi proqram bu nəticələri müxtəlif asılılıqlarda (potensialın (mV) - cərəyan sıxlığından (mA/sm²), korroziya sürətinin (mm/il) -

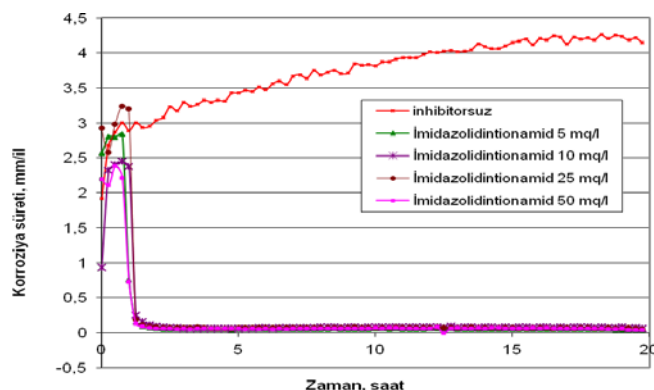
zamandan (saat), metal itkisinin (mm) - zamandan (saat)) qrafik şəklində quraraq təqdim edir.

Korroziya tədqiqatları NaCl-in 1%-li suda məhlulunda tioimidazolidintionamidin 10, 25, 50 və 100 ppm qatılıqda məhlullarında 20 saat müddətində 50 C⁰-də aparılmışdır. Məhlul 0.9 bar təzyiqdə CO₂ ilə fasiləsiz olaraq tədqiqatın sonuna qədər doydurulur. C1018 markalı poladdan hazırlanmış elektrodların korroziyası həm inhibitorluq xassəsi tədqiq olunan tioimidazolidintionamid ilə, həm də inhibitorsuz halda öyrənilmişdir. İnhibitorsuz şəraitdə 20-ci saatda korroziya sürəti 3.43 mm/ildir. İnhibitorun effektivliyi aşağıdakı tənliklə hesablanır [6] :

$$Z = \frac{K_i - K_0}{K_i} \cdot 100\% \quad (1)$$

burada Z – inhibitorun effektivliyi (faizlə), K_i – inhibitorsuz korroziya sürəti (mm/il), K_0 – inhibitor iştirakında korroziya sürəti (mm/il).

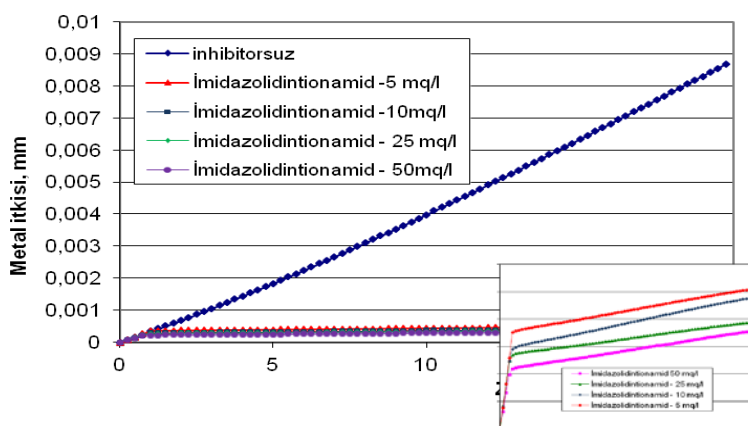
Tədqiq olunan birləşmənin iştirakında C1018 markalı poladın korroziya sürətinin zamandan asılılıq qrafiki şəkil 1-də verilmişdir.



Şəkil 1. CO₂ mühitində imidazolidintionamidin C1018 markalı poladın korroziyasına təsiri

İnhibitorsuz mühitdə korroziya sürəti 4.2161 mm/il-dir. Tədqiq olunan birləşmələrin isə korroziya sürəti 5-50 mq/l qatılıqda 0.0598-0.0418 mm/il arasında müvafiq olaraq azalır. Bütün qatılıqlarda imidazolidintionamid tədqiqat aparılan mühitdə korroziyadan yüksək mühafizə effekti (94-99%) göstərir.

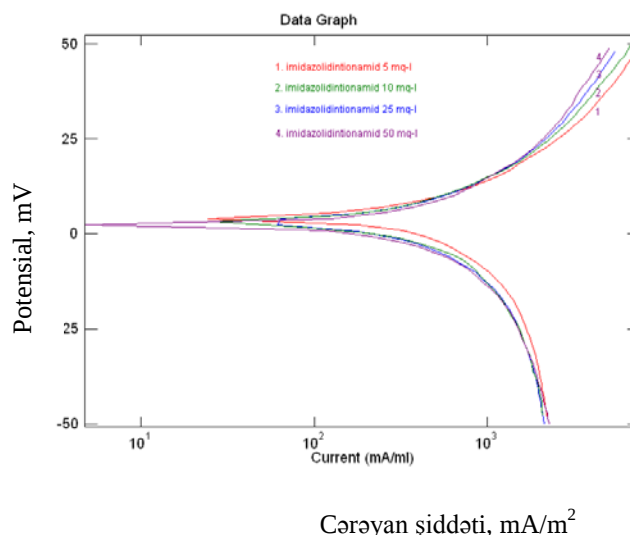
İmidazolintionamidin müxtəlif qatılıqlarında korroziyadan mühafizə effektivliyinin qiymətlərində fərq az hiss olunsada, metal itkisinin zamandan asılılıq qrafikində qatılığın artması ilə metal itkisinin azalması nəzərə cəpəcaq qədər aydın görünür (şəkil 2).



Şəkil 2. Metal itkisinin zamandan asılılığı

Anod və katod reaksiyalarının kinetikasını müəyyən etmək üçün potensiomtrik polyarizasiya tədqiqatları aparılmış və Tafel ayrıləri çəkilməşdir. CO₂ ilə doyurulmuş 1%-li NaCl məhlulu mühitində həm inhibitorsuz, həm də imidazolidin-

tionamidin müxtəlif qatılıqlarında karbonlu poladın anod və katod polyarizasiya ayrıləri şəkil 3-də verilmişdir. Polyarizasiya ayrıləri Gill AC potensiomtrində Core Running proqramı ilə çəkilməşdir.



Şəkil 3. CO₂ ilə doydurulmuş 1%-li NaCl məhlulu mühitində karbonlu poladın inhibitorsuz və inhibitorlu mühitdə potensiodinamik polyarizasiya ayrılırları.

Şəkil 3-də polyarizasiya ayrılırlarının nəticələrinə görə imidazolidintionamidin əlavə olması inhibitorsuzla müqayisədə korroziyanın cərəyan şiddətinin (I_{corr}) qiymətini daha aşağı qiymətə doğru yerini dəyişir. İnhibitorun iştirakı korroziya potensialını (E_{corr}) müsbət tərəfə dəyişir. Nəticələr göstərir ki, tədqiq olunan birləşmə CO₂ ilə doydurulmuş 1%-li

NaCl məhlulunda karbonlu polad elektrodların korroziyasına inhibitorluq təsirinə malikdir və əsasən özünü qarışıq tipli inhibitor kimi göstərir.

Səthi örtülmə dərəcəsinin qiyməti, birləşmənin ləngitmə əmsalı və adsorbsiya enerjisi aşağıdakı tənliklərlə hesablanır [6,17]:

$$\theta = \frac{K_i - K_0}{K_i} \quad (2)$$

burada θ – səthi örtülmə dərəcəsi

$$\gamma = \frac{K_i}{K_0} \quad (3)$$

burada γ – ləngitmə əmsalı,

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K_{\text{ads}}} + C \quad (4)$$

burada, K_{ads} – adsorbsiya sabiti, C – inhibitorun qatılığı, mol/l. Gibbs enerjisinin (ΔG_{ads}^0) qiyməti aşağıdakı tənliklə hesablanır:

$$K_{\text{ad}} = \frac{1}{55} \exp\left(-\frac{\Delta G_{\text{ads}}^0}{RT}\right) \quad (5)$$

Birləşmənin adsorbsiya enerjisinin və səthi örtülmə dərəcəsinin hesablanmış qiymətləri cədvəl 1-də verilmişdir.

Cədvəl 1. İmidazolidintionamidin karbon turşusu korroziyasından mühafizə təsirinin nəticələri

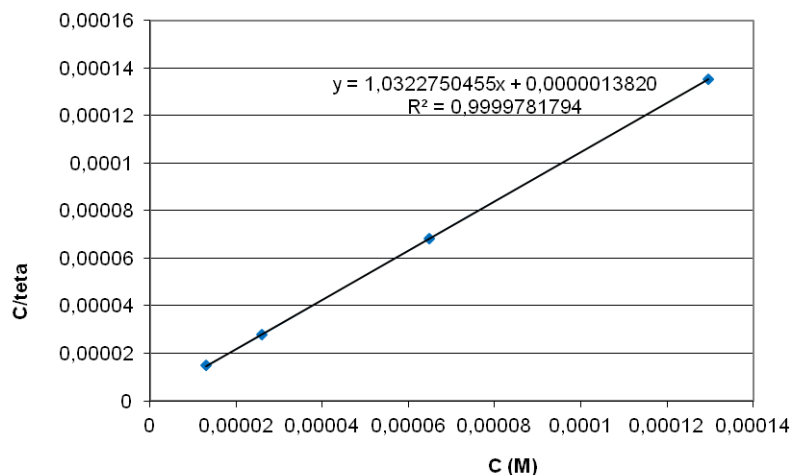
Adı	Qatılıq C, ppm	K, mm/il	Ləngitmə əmsalı, γ	Səthi örtülmə dərəcəsi, θ	ΔG^0 , kJ/mol ⁻¹	Mühafizə effekti, Z %
İnhibitorsuz	-	4.15	-	-	-	-
İmidazolidin- tionamid	5	0.061	68.0	0.985	-47.5	98.5
	10	0.059	70.3	0.986	-45.9	98.6
	25	0.054	76.9	0.987	-43.9	98.7
	50	0.041	101.2	0.990	-42.9	99.0

Adsorbsiya izotermələri korroziya inhibitorlarının effektivliyini təyin etməyə imkan verir. Elektrokimyəvi tədqiqatların nəticələri alınmış məlumatların Lenqmyur izoterminə uyğun olduğunu göstərir (4). İyirmi saat müddətində aparılmış tədqiqat məlumatları adsorbsiya tarazlığını öyrənmək üçün tamamilə kifayət edir.

İmidazolidintionamidin metal səthinə mühafizə təsirini öyrənmək məqsədi ilə imidazolidintionamidin müxtəlif qatılıqlarında Lenqmyur əyriləri qurulmuşdur. Şəkil 4-də

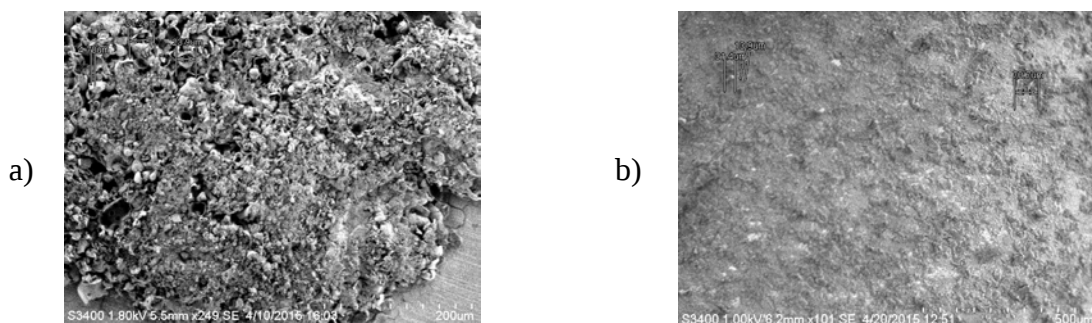
karbon turşusu korroziyasından mühafizə zamanı C/ θ nisbətinin qatılıqdan (C) asılılığı əsasında Lenqmyur əyriləri göstərilmişdir.

Tədqiq olunan mühitdə sintez olunmuş imidazolidintionamidin adsorbsiya enerjilərinin qiymətləri -40 kJ/mol⁻¹-dan aşağıdır. Digər tərəfdən C/ θ nisbətinin qatılıqdan asılılığını qurarkən əyrilərin demək olar ki, üst-üstə düşməsi göstərir ki, CO₂ ilə doyurulmuş mühitdə tədqiq olunan birləşmə metal səthində kimyəvi adsorbsiya edir və Lenqmyur adsorbsiya izoterminə tabe olur.

**Şəkil 4.** İmidazolidintionamidin müxtəlif qatılıqlarında Lenqmyur adsorbsiya izotermələri

Həmçinin skan elektron PHİLİPS firmasının istehsalı olan skan elektron mikroskopu (SEM) vasitəsi (model XL-30) ilə

imidazolidintioamidin iştirakında və inhibitorsuz mühitdə tədqiq olunan metalın səthinin morfologiyası öyrənilmişdir (şək.5).



Şəkil 5. C1018 markalı poladdan hazırlanmış elektrod səthinin inhibitorsuz (a) və inhibitor (b) iştirakında 250 dəfə böyüdülmüş foto şəkilləri

Elektron mikroskopu üsulu materialların quruluşunun xüsusiyyətlərini, dağılmanın xarakterini, metal dənəciklərinin sərhəddinin quruluşunu, kristal quruluşda defektlərin olması üzə çıxarmağa imkan verir. Səthin mikrofotoları inhibitorsuz mühitdə səthdə yaranan örtüyün quruluşunda mikrodeşiklərin və yaraların əmələ gəldiyini təsdiq edir. Metal səthinin 250 dəfə böyüdülmüş fotosəkilləri göstərir ki, mühitdə imidazolidintionamidin

mühitdə iştirakı həm ümumi korroziyanı, həm də korroziya çatlarının qarşısını tamamilə dayandırır. Metal səthində mikrodeşiklər və korroziya yaralarına rast gəlinmir, lakin lokal da olsa korroziya izlərinə rast gəlinir. Bu sübut edir ki, imidazolidintionamid birləşməsi metal səthində kimyəvi adsorbsiya edərək səthdə örtük təbəqəsi əmələ gətirir. Əmələ gəlmiş örtük təbəqəsi metal səthinə aqressiv komponentlərin daxil olmasının qarşısını alır.

NƏTİCƏLƏR

1. Balaxanı neftindən ayrılmış parafin-izoparafin qarışığından alınmış SNT qarışığının tiokarbamid və trietilentetraminlə reaksiyasından imidazolidintionamid (1-(2-((2-aminetil)-amin)-etil)-imidazolidin-2-tion) birləşməsi sintez edilmişdir.
2. Sintez olunmuş imidazolidintionamid qarışığının CO₂ saxlayan mühitdə korroziyaya qarşı təsiri öyrənilmiş və müəyyən olunmuşdur ki, imidazolidintionamidin 25 və 50 ppm qatılıqlarda onun C1018 markalı poladın

korroziyadan mühafizə effekti müvafiq olaraq 96 və 98% olur.

3. Tafel əyrilərinin analizi göstərir ki, imidazolidintionamid poladın həm anod, həm də katod prosesini eyni dərəcədə ləngidir və bu birləşmə qarışıq tipli inhibitorudur. Adsorbsiya enerjisinin -40 kC/mol⁻¹-dən aşağı olması imidazolidintionamidin metal səthində kimyəvi adsorbsiya edərək korroziyanın qarşısını aldığını göstərir.

REFERENCES

1. Cao P., Gu R., Tian Z. Surface-enhanced raman spectroscopy studies on the interaction of imidazole with a silver electrode in acetonitrile solution. *J. Phys. Chem. B.*, 2003, vol.107, issue 3, pp. 769-777.
2. Dharmaraj E., Pragathiswaran C., Govindhan P., Arockia Sahayaraj P., John Amalraj A., Dharmalingam V. Corrosion inhibition of mild steel by natural product compound. *IJRPC*, 2017, vol.7, Issue 1, pp.132-137.
3. Mursalov N.I., Jabrailzadeh Sh.Z., Abbasov V.M., Guliyev A.A., Guluzadeh A.G., Badalova G.N., Duzdaban Kh.R. Research into effect of imidazoline derivatives on hydrogen

- sulfide corrosion. *Kimya problemleri – Chemical Problems*. 2015, vol. 13, no. 2, pp. 159-164. (In Azerbaijan).
4. Sathishkumar P., Kumaravelan V., Dhivya priya D. Comparative study of mild steel corrosion using hydrochloric acid and phosphoric acid medium with ocimum tenuiflorum (l) plant extract. *International journal of advanced research*, 2015, volume 3, issue 4, pp.643-651.
 5. Rzayeva N.Sh. Conservation liquids based on nitro-compounds, distillate T-30, and amidoamines of sunflower oil acids. *Kimya problemleri – Chemical Problems*. 2017, vol. 15, no. 2, pp. 207-210. (In Azerbaijan).
 6. Hmamou Ben D., Salghi R., Zarrouk A., Zarrok H., Assouag M., Hammouti B., Al-Deyab S.S., Hezzat El M. Inhibition of carbon steel corrosion in phosphoric acid solution by Alizarin, *Der Pharmacia Lettre*, 2013, vol. 5, issue 2, pp.135-142.
 7. Shaker N.O., Badr E.E., Kandeel E.M. Adsorption and inhibitive properties of fatty imidazoline surfactants on mild steel, *Der Chemica Sinica*, 2011, vol.2, issue 4, pp. 26-35.
 8. El Maghraby A.A., Soror T.Y. Quaternary ammonium salt as effective corrosion inhibitor for carbon steel dissolution in sulphuric acid media. *Advances in Applied Science Research*, 2010, vol.1, issue 2, pp.143-155.
 9. Al-Sammarraie A.M.A., Al-Saade Kh.A., Al-Amery M.H.A. Synthesis and characterization of benzothiazol derivative as a corrosion inhibitor for carbon steel in seawater. *Materials Sciences and Applications*. 2015, vol.6, pp. 681-693.
 10. Yu L., Deng Y., Cao J. Regioselective synthesis of highly substituted imidazoles via the sequential reaction of allenyl sulfonamides and amines. *J. Org. Chem.*, 2015, vol.80, issue 9, pp. 4729–4735
 11. Abbasov V.M., Mursalov N.I., Dzhabrailzadeh Sh.Z., Alieva L.I., Rzaeva N.Sh., Talybov A.G. Synthesis of S-containing imidazolines and the study of their anti-corrosion action in CO₂ saturated solutions. *Processes of Petrochemistry and Oil Refining.*, 2014, vol. 15, no. 4 (60), pp. 293-300. (In Azerbaijan).
 12. Abdel Hameed R.S., Shamroukh Ahmed H., Abdallah M. Synthesis, evaluation of pyrazolo[3,4-d]pyrimidinone derivatives as corrosion inhibitors for carbon steel in 1 M HCl acidic medium. *Jokull Journal*, 2016, vol 66, no. 2, pp. 24-47.
 13. Saleh Kh.A., Mohammed M. Kh. Inhibition and adsorption actions of nano curcumin for corrosion of carbon steel alloy in 3.5% NaCl solution. *International Journal of ChemTech Research*, 2017, vol.10, issue 3, pp. 515-529.
 14. Wahyuningrum D., Achmad S., Syah Y.M., Buchari, Ariwahjoedi B. The Synthesis of imidazoline derivative compounds as corrosion inhibitor towards carbon steel in 1% NaCl solution, *ITB J. Sci.*, 2008, vol. 40 A, no. 1, pp. 33-48.
 15. Popova A., Christov M., Raicheva S., Sokolova E. Adsorption and inhibitive properties of benzimidazole derivatives in acid mild steel corrosion, *Corrosion Science*, 2004, vol.46, Issue 6, pp.1333-1350
 16. Ramachandran S., Jovancicevic V. Molecular modelling of the inhibition of mild steel carbon dioxide corrosion by imidazolines. *Corrosion*, 1999, vol.55, issue 33, pp. 259-267.
 17. Chen Guo-hao, Zhao Jing-mao. Corrosion inhibition of imidazoline derivatives with benzene rings on mild steel in CO₂-saturated brine solution. *Chem. Res. Chinese Universities*. 2012, vol. 28, issue 4, pp. 691—695.

INHIBITING EFFECT OF IMIDAZOLIDINE THIONAMIDE ON CORROSION OF SOFT STEEL IN CO₂-CONTAINING MEDIUM

N.İ. Mursalov

*Y.H. Mammadaliyev Institute of Petrochemical Processes
National Academy of Sciences of Azerbaijan
30 Khojaly Ave., Baku AZ 1025; e-mail: nizamimursalov@mail.ru*

An imidazolidine thionamide compound was synthesized on the basis of 1- (2 - ((2-amineethyl)-amine)-ethyl)-imidazolidine-2-thione obtained from the reaction of thiocarbamide and triethylenetetramine at 1800°C and a mixture of synthetic naphthenic acids derived from the paraffin-isoparaffin mixture separated from Balakhani oil. An effect of the obtained imidazolidine thioneamide on the corrosion of steel grade C1018 in the CO₂ environment was studied. It found that the effect of protection of imidazolidinethioneamide at concentrations of 25 and 50 ppm made up 96 and 98%. Analysis of polarization curves of steel C1018 imidazolidinethioneamide at different concentrations shows that imidazolidinethioneamide inhibits both the anodic and cathodic process of steel.

The adsorption energy below -40 kJ / mol⁻¹ shows that imidazolidinethionamide is chemisorbed on the metal surface. Analysis of the metal surface through the scanning electron microscopy shows that with the participation of imidazolidinedioneamide in CO₂ medium no microcracks and corrosion damage are found on the metal surface.

Keywords: CO₂ corrosion, corrosion inhibitor, polarization, adsorption energy, scanning electron microscopy.

ИНГИБИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ИМИДАЗОЛИДИНТИОНАМИДА НА ПРОЦЕСС КОРРОЗИИ МЯГКОЙ СТАЛИ В СО₂ СОДЕРЖАЩЕЙ СРЕДЕ

Н.И. Мурсалов

*Институт нефтехимических процессов им. Ю.Г. Мамедалиева
Национальной АН Азербайджана
AZ 1025, г.Баку, пр.Ходжалы 30; e-mail: nizamimursalov@mail.ru*

Синтезировано соединение имидазолидинтионамид на основе 1-(2-((2-аминэтил)-амин)-этил)-имидазолидин-2-тиона, полученного реакцией тиокарбамида и триэтилентетрамина при 180⁰С и смеси синтетических нафтяных кислот, полученных из парафин-изопарафиновой смеси отделенной от Балаханской нефти. Исследовано влияние полученного имидазолидинтионамида на коррозию стали марки C1018 в среде СО₂. Установлено, что эффект защиты имидазолидинтионамида при концентрациях 25 и 50 ррт составляет 96 и 98%. Анализ поляризационных кривых стали марки C1018 имидазолидинтионамида при различных концентрациях показывает, что имидазолидинтионамид тормозит как анодный, так и катодный процесс стали. Энергия адсорбции ниже -40 кДж/моль⁻¹ показывает, что имидазолидинтионамид хемосорбируется на поверхности металла. Анализ металлической поверхности с помощью сканирующей электронной микроскопии показывает, что при участии имидазолидинтионамида в среде СО₂ на поверхности металла не встречаются микротрещины и коррозионные повреждения.

Ключевые слова: углекислотная коррозия, ингибитор коррозии, поляризация, энергия адсорбции, сканирующая электронная микроскопия