

UOT: 620.193:620.197.3

İMİDAZOLİDİNTİONAMİDİN CO₂ SAXLAYAN SULU MÜHİTDƏ YUMŞAQ POLADIN KORROZİYASINA İNHİBİTORLUQ TƏSİRİ

N.İ. Mürsəlov

AMEA Y. Məmmədaliyev 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 naftən 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 skanedic 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 dioksit 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

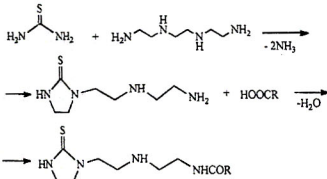
İqtisadi səmərəliliyində vacib rol oynayır. Bu işin məqsədi imidazolün törəmələrinin sintezi

və onların yumşaq poladın korroziyasına inhibitorluq təsirini öyrənməkdən ibarətdir.

TƏCRÜBİ HİSSƏ

Korroziyaya qarşı inhibitorluq xassəsinə malik imidazoliddionionamidi sintezi üçün tiokarbamid, trietilentetramin və Balaxanı neftindən ayrılmış parafin-izoparafın qarışığının Cr və Ni naftənat 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 imidazoliddion-2-tionun amidləri qarışığı alınır. Reaksiyanın gedişinin ümumi sxemi aşağıda (sxem 1) verilmişdir. Sintez olunmuş tioimidazoliddionionamid 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. İmidazoliddionionamidin sintezi reaksiyalarının sxemi

və Core Running proqramı ilə təchiz olunmuşdur. Core Running proqramı korrozিয়া cərəyanını (mA/sm²) korrozия 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), korrozия sürətinin (mm/il) -

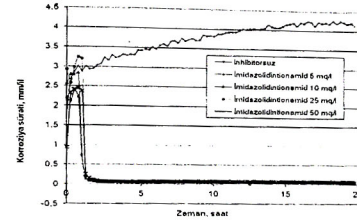
zamandan (saat), metal itkisinin (mm) - zamandan (saat)) qrafik şəklində quraraq təqdim edir.

Korrozия tədqiqatları NaCl-in 1%-li suda məhlulunda tioimidazoliddionionamidin 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 doyurulur. C1018 markalı poladdan hazırlanmış elektrodların korroziyası həm inhibitorluq xassəsi tədqiq olunan tioimidazoliddionionamid ilə, həm də inhibitorluq halda öyrənilmişdir. İnhibitorsuz şəraitdə 20-ci saatda korrozия sürəti 3.43 mm/ldir. 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 – inhibitorluq korrozия sürəti (mm/il), K₀ – inhibitor iştirakında korrozия sürəti (mm/il).

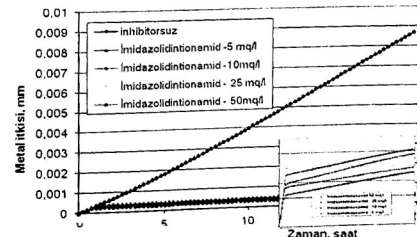
Tədqiq olunan birləşmənin iştirakında C1018 markalı poladın korrozия sürətinin zamandan asılılıq qrafiki şəkil 1-də verilmişdir



Şəkil 1. CO₂ mühitində imidazoliddionionamidin C1018 markalı poladın korroziyasına təsiri

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

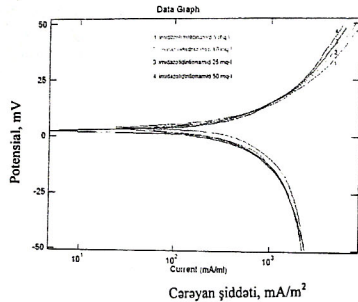
İmidazoliddionionamidin müxtəlif qatılıqlarında korroziyadan mühafizə effektivinin qiymətlərində fərq az hissə olunsada, metal itkisinin zamandan asılılıq qrafikində qatılığın artması ilə metal itkisinin azalması nəzərə cərpacaq qədər aydın görünür (şəkil 2).



Şəkil 2. Metal itkisinin zamandan asılılıq

Anod və katod reaksiyalarının potensiometrlik polyarizasiya tədqiqatları kinetikasını müəyyən etmək üçün aparılmış və Tafel ayrılırları çəkilmişdir. CO₂ ilə

doydurulmuş 1%-li NaCl məhlulu mühitində həm inhibitoruz, həm də imidazolidintionamidin müxtəlif qatlıqlarında karbonlu poladın anod və katod polarizasiya ayrılır



Şəkil 3: CO₂ ilə doydurulmuş 1%-li NaCl məhlulu mühitində karbonlu poladın inhibitoruz və inhibitorlu mühitdə potensiodinamik polarizasiya ayrılır.

Şəkil 3-də polarizasiya ayrılarının nəticələrinə görə imidazolidintionamidin əlavə olması inhibitoruzla müqayisədə korroziyanın carayan 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]:

$$\theta = \frac{K_f - K_b}{K_f} \quad (2)$$

burada θ – səthi örtülmə dərəcəsi

$$\gamma = \frac{K_f}{K_b} \quad (3)$$

burada γ – ləngitmə əmsalı,

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

burada, K_{ads} – adsorbsiya sabiti, C – inhibitorun qatılığı, mol/l.

Gibbs enerjisinin (ΔG_{ads}^0) qiyməti aşağıdakı tənliklə hesablanır:

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

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

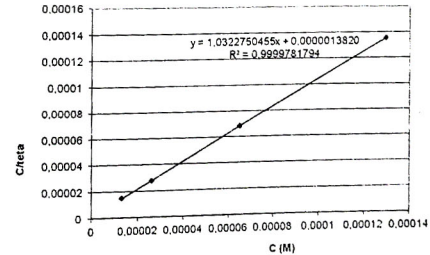
Cədvəl 1. İmidazolidintionamidin karbon turşusu korroziyasından mühafizə təsirinə nəticələri

Adı	Qatılıq C, ppm	K _i , mm/il	Ləngitmə əmsalı, γ	Səthi örtülmə dərəcəsi, θ	ΔG ⁰ , kC/mol	Mühafizə effekti, Z %
Inhibitoruz	-	4.15	-	-	-	-
İmidazolidintionamid	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 izotermi 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.

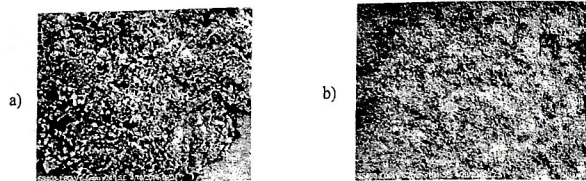
İmidazolidintionamidin metal səthinə mühafizə təsirini öyrənmək məqsədi ilə imidazolidintionamidin müxtəlif qatılıqlarında Lenqmyur ayrılırları qurulmuşdur. Şəkil 4-də karbon turşusu korroziyasından mühafizə zamanı C/θ nisbatının qatılıqdan (C) asılılığı əsasında Lenqmyur ayrılırları göstərilmişdir.

Tədqiq olunan mühitdə sintez olunmuş imidazolidintionamidin adsorbsiya enerjilərinin qiymətləri -40 kC/mol⁻¹-dən aşağıdır. Digər tərəfdən C/θ nisbatının qatılıqdan asılılığını qararkən ayrılardan demək olar ki, üst-üstə düşməsi göstərir ki, CO₂ ilə doydurulmuş mühitdə tədqiq olunan birləşmə metal səthində kimyəvi adsorbsiya edir və Lenqmyur adsorbsiya izotermiə tabe olur.



Şəkil 4. İmidazolidintionamidin müxtəlif qatılıqlarında Lenqmyur adsorbsiya izotermi

Həmçinin skan elektron PHILIPS imidazolidintionamidin iştirakında və firmasının istehsalı olan skan elektron inhibitoruz mühitdə tədqiq olunan metalın mikroskopu (SEM) vasitəsi (model XL-30) ilə səthinin morfolojiyası öyrənilmişdir (şəkil.5).



Şəkil 5. C1018 markalı poladdan hazırlanmış elektrod səthinin inhibitor (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 inhibitoruz 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 qatlarının qarşısını tamamilə dayandırır. Metal səthində mikrodeşiklər və korroziya yaralarına rast gəlinir, 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 trietiltetraminlə 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 ayrılarının 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

- 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.
- 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.
- 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 problemləri – Chemical Problems*. 2015, vol. 13, no. 2, pp. 159-164. (In Azerbaijan).
- 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.
 - Rzayeva N.Sh. Conservation liquids based on nitro-compounds, distillate T-30, and amidoamines of sunflower oil acids. *Kimya problemləri – Chemical Problems*. 2017, vol. 15, no. 2, pp. 207-210. (In Azerbaijan).
 - 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.
 - 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.
 - 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.
 - Al-Sammarraie A.M.A., Al-Saade Kh.A., Al-Amery M.H.A. Synthesis and characterization of benzothiazole derivative as a corrosion inhibitor for carbon steel in seawater. *Materials Sciences and Applications*. 2015, vol.6, pp. 681-693.
 - 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
 - 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).
 - 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.
 - 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.
 - 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.
 - 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
 - Ramachandran S., Jovancevic V. Molecular modelling of the inhibition of mild steel carbon dioxide corrosion by imidazolines. *Corrosion*, 1999, vol.55, issue 33, pp. 259-267.
 - 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 thionamide on the corrosion of steel grade C1018 in the CO₂ environment was studied. It found that the effect of protection of imidazolidinethionamide at concentrations of 25 and 50 ppm made up 96 and 98%. Analysis of polarization curves of steel C1018 imidazolidinethionamide at different concentrations shows that imidazolidinethionamide inhibits both the anodic and cathodic process of steel.

The adsorption energy below -40 kJ / mol¹ 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 триэтиленetetрамина при 1800°C и смеси синтетических нафтеновых кислот, полученных из парафин-изопарафиновой смеси отделенной от Балаханской нефти. Исследовано влияние полученного имидазолидинтионамида на коррозию стали марки C1018 в среде CO₂. Установлено, что эффект защиты имидазолидинтионамида при концентрациях 25 и 50 ppm 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/моль¹ показывает, что имидазолидинтионамид хемосорбируется на поверхности металла. Анализ металлической поверхности с помощью сканирующей электронной микроскопии показывает, что при участии имидазолидинтионамида в среде CO₂ на поверхности металла не встречаются микротрещины и коррозионные повреждения.

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