



<https://doi.org/10.15407/polymerj.47.02.075>
УДК 66.022.5

ПЕТРО ЛОГВИНЕНКО

ORCID: 0000-0003-0721-8128

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України
48, Харківське шосе, Київ, 02155, Україна
e-mail: petmol@ukr.net

СЕРГІЙ КОБИЛІНСЬКИЙ

ORCID: 0000-0002-4915-2502

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України
48, Харківське шосе, Київ, 02155, Україна

ЛАРИСА КАРСИМ

ORCID: 0009-0003-7707-1659

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України
48, Харківське шосе, Київ, 02155, Україна

ГАЛИНА ГЛІЄВА

ORCID: 0000-0002-2916-0257

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України
48, Харківське шосе, Київ, 02155, Україна

СЕРГІЙ РЯБОВ

ORCID: 0000-0003-2996-3794

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України
48, Харківське шосе, Київ, 02155, Україна

ПОВЕРХНЕВЕ АБРАЗИВНЕ ДИСПЕРГУВАННЯ СТАЛІ У ВОДНИХ БІНАРНИХ РОЗЧИНАХ НА-КМЦ — ЛАУРИЛСУЛЬФАТ НАТРІЮ

Наразі розуміння взаємодії поверхнево-активних речовин (ПАР) і полімерів необхідне для створення нових високоефективних середовищ для механічного оброблення металів. Враховуючи, що ефективність поверхневого диспергування визначається, переважно, властивостями змочування та проникання (ефект Ребіндера), проведено дослідження впливу лаурилсульфату натрію (SLS) і поліелектроліту Na-КМЦ на диспергуючі властивості їх водних бінарних розчинів (ВБР).

Встановлено, що малі добавки SLS у розчині Na-КМЦ істотно впливають на диспергуючі властивості ВБР Na-КМЦ — SLS, при цьому спостерігається як значний синергізм диспергування металів у діапазоні малих концентрацій Na-КМЦ і ПАР, так і антагонізм компонентів за високих концентрацій Na-КМЦ і малих концентрацій ПАР. Антагонізм впливу компонентів у висококонцентрованих розчинах 0,25 % Na-КМЦ — SLS і 1,00 % Na-КМЦ — SLS є результатом утворення інтермолекулярних комплексів Na-КМЦ — SLS та їх впливом на реологічні властивості, які істотно впливають на властивості проникання, а, отже, і на диспергування. Екстремальна залежність диспергуючих властивостей ВБР 0,05 % Na-КМЦ — SLS від вмісту ПАР — результат поєднання позитивного впливу поверхнево-активних, реологічних та електропровідних властивостей.

Ключові слова: диспергування, метал, поліелектроліт, ПАР, міцели, в'язкість, електропровідність.

Цитування: Логвиненко П., Кобилінський С., Карсим Л., Глієва Г., Рябов С. Поверхневе абразивне диспергування сталі у водних бінарних розчинах Na-КМЦ — лаурилсульфат натрію. *Полімерний журнал*. 2025. 47, № 2. С. 75—81. <https://doi.org/10.15407/polymerj.47.02.075>

© Publisher PH “Akadempriodyka” of the NAS of Ukraine, 2025. This is an open access article distributed under the CC BY-ND 4.0 licence

Вступ

Відомо [1], що метою застосування змащувально-охолоджувальних рідин при механічному обробленні металів є зменшення зносу ріжучого й абразивного інструментів, а також підвищення якості оброблюваної поверхні. Хімічний склад змащувально-охолоджувальних рідин, основи абразивних паст і суспензій значною мірою визначає їхню абразивну здатність, якість оброблюваної поверхні та стійкість інструменту, наприклад абразивних кругів. Такий ефект забезпечується сукупним впливом ряду технологічних характеристик змащувально-охолоджувальних рідин, проте головна, особливо для абразивного оброблення, диспергуюча дія, яка значною мірою визначає абразивну здатність кругів і використовуваних паст суспензій.

Ефективність використання в технології абразивного оброблення металів водних бінарних розчинів (ВБР) поліакриламід — олігомер, поліелектроліт — аміновмісний олігомер, поліалкіленгліколь — лаурилсульфат натрію (SLS) і поліетиленгліколь — SLS показана в роботах [2—7]. Науковий та практичний інтерес становить дослідження диспергуючих середовищ на основі ВБР із використанням поліелектроліту (ПЕ) Na-KMЦ, який є продуктом перероблення природновідновлюваної сировини, та аніоноактивного SLS (ПАР). Можливість комплексоутворення молекул і міцел SLS із макромолекулами поліелектроліту Na-KMЦ відкриває перспективу дослідженням ВБР Na-KMЦ — SLS у технології механічного, зокрема абразивного, оброблення металів [8]. Важливо [9], що малі добавки ПАР до розчинів ПЕ не тільки підсилюють ефект зниження опору течії, а й підвищують стійкість макромолекул до руйнування, що позитивно впливає на термін дії, тобто придатності технологічних продуктів — змащувально-охолоджувальних рідин, паст і суспензій.

Матеріали та методи

Для досліджень використано Na-карбоксиметилцелюлозу (Na-KMЦ) виробництва компанії Lihong Fine Chemicals Co., Ltd (Китай) і лаурилсульфат натрію (SLS) виробництва компанії «Укроргсинтез».

Диспергуючі властивості водних розчинів SLS, Na-KMЦ і ВБР Na-KMЦ — SLS вивчали гравіметричним методом при абразивному диспергуванні дисків зі сталі 45 на машині тертя [3] за навантаження 0,1 МПа та лінійної швидкості 0,12 м/с, тривалість випробування 5 хв. Як притир використовували чавун СЧ за ГОСТ 7769-63, як абразив — карбід кремнію ККЗМ20. Диспергуючу дію компонентів дисперсійного середовища визначали за приростом знімання ΔQ^K з точністю до 0,1 мг, тобто за різницею між величиною знімання сталі в розчині (Q^P) та у воді (Q^B): $\Delta Q^K = Q^P - Q^B$. Візуальний огляд зразків сталі 45 показує, що після випробувань поверхня дисків стає матовою, світло-сірого кольору, а відсутність на ній подряпин і припалів свідчить про нормальний перебіг процесу мікрорізання.

Реологічні властивості розчинів та композицій досліджували методом ротаційної віскозиметрії на приладі «Reotest-2» з цифровою індикацією результатів за швидкості зсуву $D_r = 1312 \text{ с}^{-1}$ і температури 20 °С. Поверхневий натяг розчинів Na-KMЦ, ПАР і ВБР Na-KMЦ — SLS визначали видозміненим методом пластинки Вільгельмі [10, 11].

Мета роботи — дослідження диспергуючих, поверхнево-активних, реологічних та електропровідних властивостей водних розчинів Na-KMЦ, SLS і ВБР Na-KMЦ — SLS.

Результати дослідження та їх обговорення

Криві концентраційної залежності диспергуючої дії ΔQ розчинів поліелектроліту Na-KMЦ (ΔQ^{PE}), ПАР SLS (ΔQ^S) і водних бінарних розчинів ПЕ — ПАР (Na-KMЦ — SLS) (ΔQ^{BVP}) наведено на рис. 1. Аналіз рисунка показав, що на величину ΔQ істотно впливають концентрації ПАР і ПЕ, при цьому максимумами ΔQ лежать в області 0,1 %, оптимальній для реалізації ефекту Ребіндера [12]. Концентрацію Na-KMЦ у ВБР варіювали від 0,05 % до 1,00 % з урахуванням результатів вивчення диспергуючої дії ВБР на основі Na-KMЦ та олігомерних ПАР [5]. Порівняння величини ΔQ^{BVP} знімання металу в розчині ПЕ (рис. 1, криві 3—6) і $\Delta Q^{ПАР}$ у розчині ПАР (рис. 1, крива 2) показало, що за відповідних концентрацій SLS у ВБР величина ΔQ^{BVP} не є адитивною сумою приросту зніман-

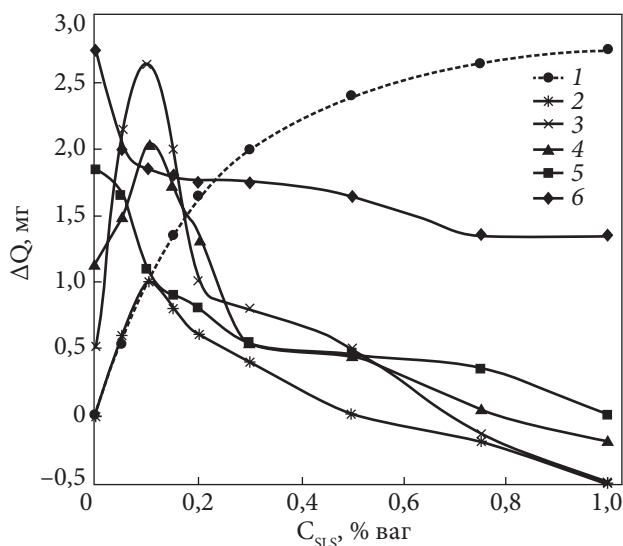


Рис. 1. Залежність приросту знімання ΔQ Ст.45 від концентрації водних розчинів Na-КМЦ (1), SLS (2), а також розчинів Na-КМЦ: 0,05 (3); 0,15 (4); 0,25 (5) і 1,00 % (6) від концентрації SLS

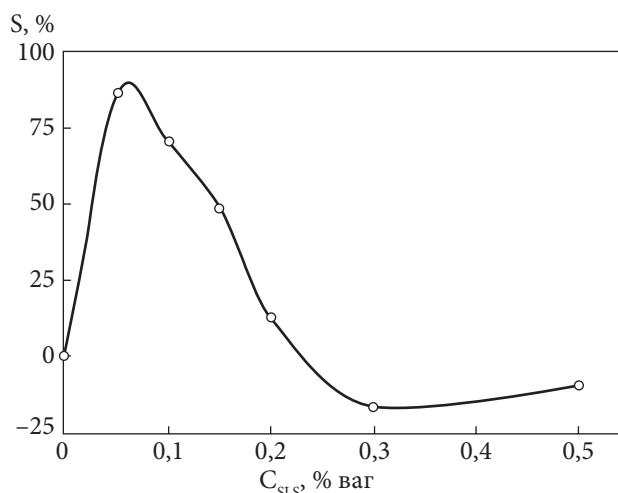


Рис. 2. Залежність синергізму (S) диспергуючої дії від концентрації SLS у ВБР 0,05 % Na-КМЦ — SLS при диспергуванні Ст. 45

ня в полімерному розчині ($\Delta Q^{\text{ПЕ}}$) і в розчині ПАР ($\Delta Q^{\text{ПАР}}$), а це свідчить про взаємне підсилення, тобто про синергізм впливу компонентів у складі ВБР. Величину синергізму (S , %) визначали з різниці між значеннями $\Delta Q^{\text{ВБР}}$, отриманими експериментально (рис. 1, криві 1—3), і значеннями $\Delta Q^{\Sigma} = \Delta Q^{\text{ПЕ}} + \Delta Q^{\text{ПАР}}$, які є арифметичною сумою значень приросту знімання металу ΔQ за співвідношенням [4]:

$$S = [\Delta Q^{\text{ВБР}} - (\Delta Q^{\text{ПАР}} + \Delta Q^{\text{ПЕ}})] / (\Delta Q^{\text{ПАР}} + \Delta Q^{\text{ПЕ}}) \cdot 100 \, \%.$$

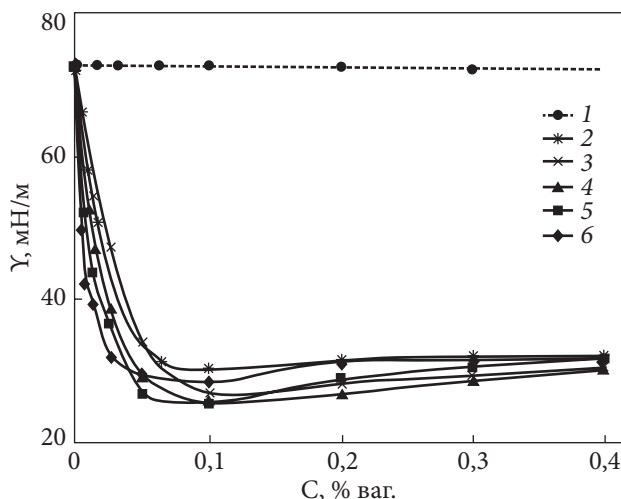


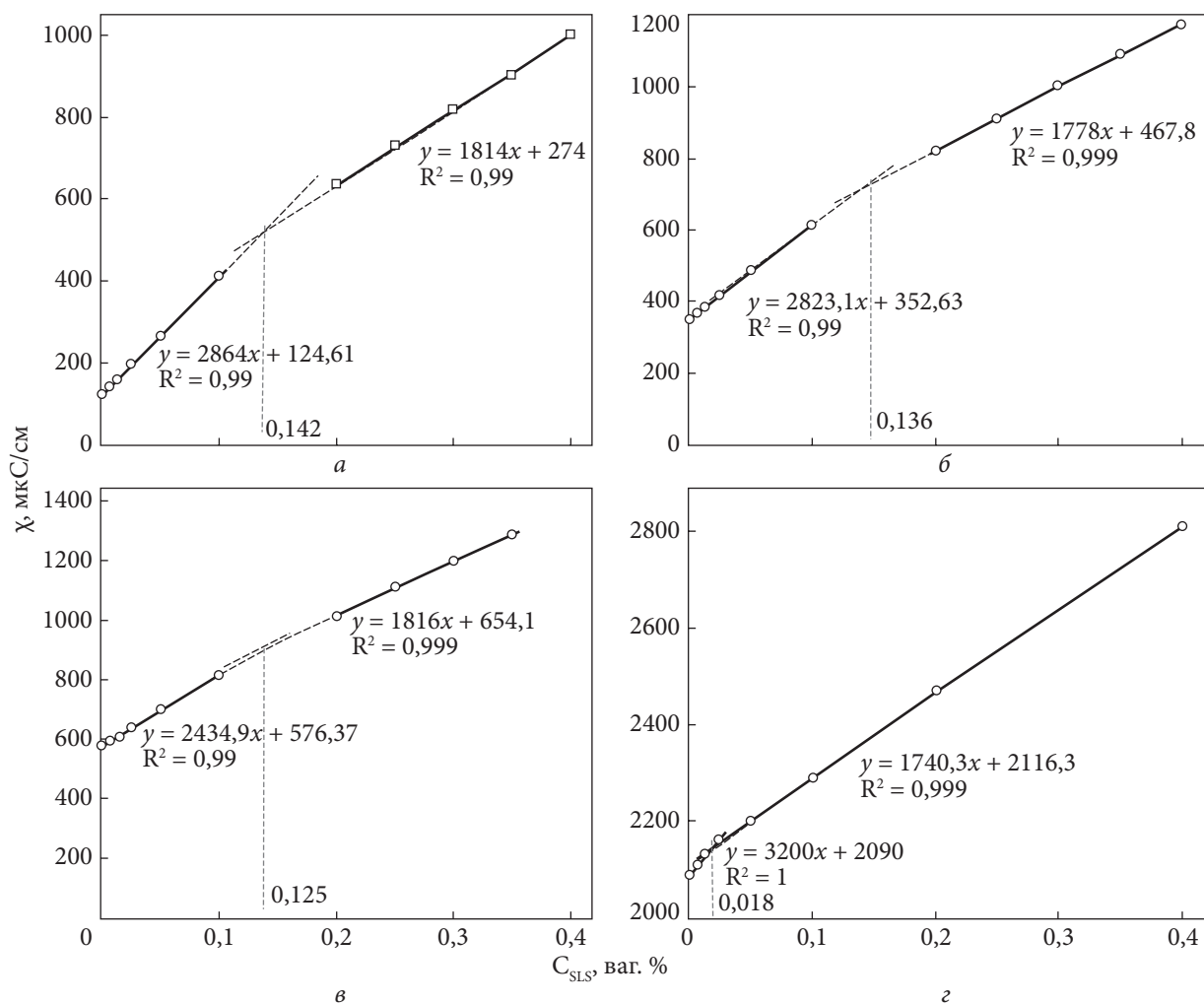
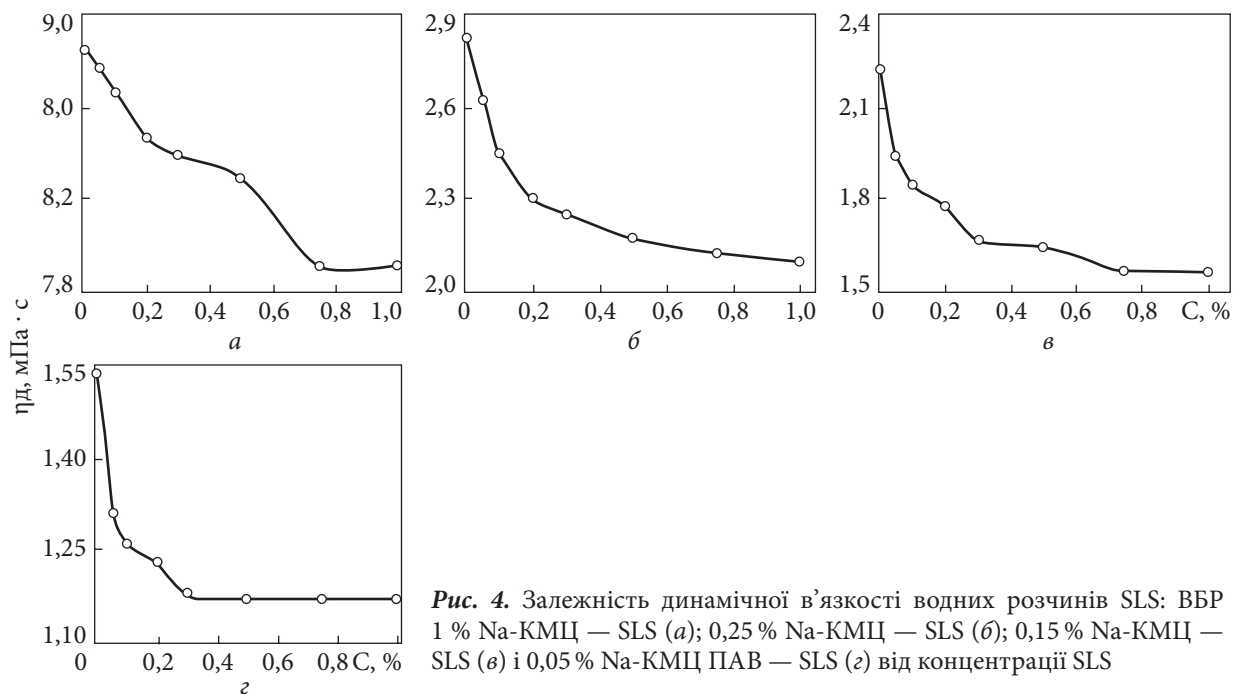
Рис. 3. Залежність поверхневого натягу водних розчинів: Na-КМЦ (1); SLS (2); ВБР 0,05 % Na-КМЦ — SLS (3); 0,15 % Na-КМЦ — SLS (4); 0,25 % Na-КМЦ — SLS (5) і 1 % Na-КМЦ — SLS (6) від концентрації ПАР

Таблиця. Критична концентрація міцелоутворення та показники $\Delta \eta_D$ динамічної в'язкості ВБР Na-КМЦ — SLS

Розчин Na-КМЦ, %	Критична концентрація міцелоутворення		$\Delta \eta_D$, мПа · с
	за поверхневим натягом	за питомою електропровідністю	
0,00	0,19	1,196	—
0,05	0,15	0,142	18,2
0,15	0,13	0,136	17,1
0,25	0,12	0,125	12,7
1,00	0,05	0,018	2,1

Відповідно до проведених розрахунків величина синергізму (S) (рис. 2) для ВБР 0,05 % Na-КМЦ — SLS досягає 85,0 %, що свідчить про досить сильну взаємодію між компонентами. При підвищенні концентрації ПАР вище 0,2 % синергізм диспергуючої дії компонентів переходять в антагонізм, що можна пояснити впливом міцелярної складової ПАР у ВБР, частка якої збільшується після досягнення критичної концентрації міцелоутворення (ККМ) 0,23 % [13].

Характер кривих концентраційної залежності диспергуючих властивостей істотно змінюється зі збільшенням концентрації Na-КМЦ до 0,15; 0,25 і 1,00 % (рис. 1, криві 4—6). Відповідно до проведених розрахунків, величина $\Delta Q^{\text{ВБР}}$ ПЕ — SLS за концентрації $C(\text{ПЕ})$ 0,15 % відповідає сумі $\Delta Q^{\text{ПЕ}} + \Delta Q^{\text{ПАР}}$, тобто спостері-



гається адитивність диспергуючих властивостей компонентів ВБР. У такому випадку покрокове зниження ΔQ у ВБР 0,25 % Na-KMЦ — SLS з відповідним підвищенням концентрації ПАР на 0,05 % може бути результатом взаємодії молекул SLS із макромолекулами Na-KMЦ [8]. У такому логічному ключі можна пояснити близькі за характером результати, отримані при диспергуванні Ст. 45 у ВБР 1 % Na-KMЦ — SLS (рис. 1, крива 6). Порівнюючи відповідні криві 5 і 6 на рис. 1, треба відзначити їхні різні «нульові» позиції, тобто значення ΔQ для розчинів 1,00 і 0,25 % Na-KMЦ. Однак при додаванні ПАР до розчину ПЕ характер концентраційних кривих досить близький: різке зниження значень ΔQ від $\Delta Q^{\max}$ за $C(\text{SLS}) = 0,0\%$, а з підвищенням концентрації SLS на кожні 0,05 % криві ΔQ виходять на плато (рис. 1, криві 5 і 6) в області 0,20—0,25 %, близькій до ККМ SLS у водних розчинах [13]. Отже, залежно від співвідношення компонентів диспергуючі властивості ВБР змінюються від синергізму за концентрації 0,05 % Na-KMЦ до адитивності за 0,15 %. У концентрованих розчинах 0,25 і 1,0 % Na-KMЦ спостерігається сильний антагонізм диспергуючої дії ПЕ та ПАР, що проявляється у різкому зниженні ΔQ у доміцелярній області концентрацій ПАР (рис. 1, криві 5—6).

Відомо, що високі диспергуючі властивості змашувально-охолоджувальних рідин реалізуються за оптимального співвідношення властивостей змочувальності і проникання, яке визначається поверхневим натягом (γ), в'язкістю (η_D) і регулюється відповідними добавками: ПАР, олігомерів і полімерів [14]. Результати дослідження у розчинів ПЕ, ПАР і БР ПЕ — ПАР наведені на рис. 3.

Значення ККМ SLS і ВБР, знайдені графічним шляхом за зломом ізотерм поверхневого натягу γ у напівлогарифмічних координатах $\gamma = f(\log C)$, подані в таблиці.

Як видно з наведених у таблиці даних, при підвищенні концентрації ПЕ величина ККМ істотно знижується, що свідчить про досить сильну взаємодію макромолекул Na-KMЦ з аніоноактивною ПАР [9, 12].

Порівняльний аналіз відповідних кривих 3 на рис. 1 і 3 дає змогу зробити висновки про симбатність залежності диспергуючих і поверхнево-активних властивостей ВБР 0,05 % Na-KMЦ — SLS. Відсутність такої сим-

батності у ВБР 0,25 % Na-KMЦ — SLS (рис. 1 і 3, криві 5) можна пояснити істотним впливом реологічних властивостей (рис. 4) на характеристики проникання і, відповідно, диспергування ВБР [14].

Відповідно до розрахунків за наведеними на рис. 4 результатами максимальне зниження в'язкості ($\Delta\eta_D$) ВБР за концентрації SLS = 0,1 %, яка відповідає $\Delta Q^{\max}$ на кривих залежності ΔQ від концентрації ПАР, реалізується у ВБР 0,05 % Na-KMЦ — 0,1 % SLS (таблиця) та проявляється у синергізмі диспергуючої дії компонентів (рис. 2). Вплив добавок SLS на в'язкість ВБР можна пояснити утворенням інтермолекулярних комплексів Na-KMЦ — SLS при взаємодії молекул SLS і міцел з ланцюжками ПЕ за ККМ, критичної концентрації асоціації або критичної концентрації насичення [8, 9].

Відомо [9, 15], що утворення інтермолекулярних комплексів ПЕ — SLS істотно впливає як на в'язкість, так і на електропровідність ВБР, що дає змогу визначати ККМ методом Вільямса [13] (рис. 5, таблиця).

Як видно з наведених в таблиці результатів, величина ККМ поступово знижується зі збільшенням концентрації Na-KMЦ, що узгоджується з результатами дослідження поверхнево-активних (рис. 3, таблиця) і реологічних (рис. 4, таблиця) властивостей ВБР.

Висновки

Вивчено концентраційну залежність поверхневого натягу, реологічних, кондуктометричних і диспергуючих властивостей водних розчинів поліелектроліту Na-KMЦ, лаурилсульфату натрію і водних бінарних розчинів ВБР Na-KMЦ — SLS.

Встановлено, що малі добавки ПАР до розчину ПЕ істотно впливають на диспергуючу дію композицій Na-KMЦ — SLS, при цьому спостерігається як значний синергізм знімання металу за малих концентрацій Na-KMЦ і SLS, так і антагонізм компонентів за високих концентрацій ПЕ та малих концентрацій ПАР.

Антагонізм впливу компонентів ВБР 0,25 % Na-KMЦ — SLS і 1,0 % Na-KMЦ — SLS можна пояснити утворенням інтермолекулярних комплексів Na-KMЦ — SLS і їх впливом на

реологічні і, отже, на проникаючі та диспергуючі властивості.

Екстремальна залежність диспергуючих властивостей ВБР 0,05 % Na-КМЦ — SLS від вмісту ПАР є результатом поєднання впливу поверхнево-активних і реологічних властивостей композицій.

Отримані експериментальні результати дають підстави припустити іммобілізацію молекул і міцел ПАР на ланцюжках ПЕ з утворенням інтермолекулярних комплексів Na-КМЦ — SLS, відповідальних за синергізм, адитивність і антагонізм диспергуючої дії компонентів ВБР.

REFERENCES

1. Jackson M.J. Recent advances in ultraprecision abrasive machining processes. SN Appl. Sci. 2020, 2, 1172 <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2982-y>
2. Logvinenko P. N., Riabov, S. V., Karsim, L. O., Glieva, G. E. Dispersion media based on water-soluble binary compositions of PEG-nonionic surface-active substances for abrasive metalworking. Journal of Friction and Wear, 2015, 36: 144—148. <https://doi.org/10.3103/S1068366615020117>
3. Logvinenko P. N., Dmitrieva, T. V., Boyko, V. V., Karsim, L. O., Glieva, G. E., Nevmerdzitska, G. F., & Riabov, S. V. Dispersion Media Based on Aqueous Binary Compositions Modified by PEG-Stearox-6 for Abrasive Metal working. Journal of Friction and Wear, 2018, 39: 512—516. <https://doi.org/10.3103/S1068366618060077>
4. Logvinenko P.N., Riabov S.V., Shevchenko V.V., Dmitrieva T.V. Polymer-oligomer containing water-based dispersing media in metal abrasive processing processes. Journal of Friction and Wear. 1999, 20: 439—445.
5. Logvinenko P.N., Dmitrieva T.V., Boyko V.V., Karsim L.O., Nevmerzhitskaya G.F., Riabov S.V. Abrasive Processing Steel in Aqueous Binary Compositions Polyelectrolyte-oligomer. American Journal of Engineering Research (AJER). 2020, 9(07): 165—169.
6. Logvinenko P.N., Kobylinsky S.N., Karsim L.O., Glievaya G.E., Riabov S.V. Abrasive processing of iron, copper and aluminum alloys in aqueous binary solutions of polyalkylene glycol-sodium alkyl sulfate. American Journal of Engineering Research (AJER), 2021, 10(05): 356—365.
7. Logvinenko P.N., Kobylinsky S.N., Karsim L.O., Glievaya G.E., Riabov S.V. Abrasive Treatment of Iron, Copper and Aluminum Alloys in Aqueous Binary Solutions of Polyethylene Glycol-Sodium Lauryl Sulfate. American Journal of Engineering Research (AJER), 2023, 12(04): 88—102.
8. Yang J., Pal R. Investigation of surfactant-polymer interactions using rheology and surface tension measurements. Polymers, 2020, 12(10): 2302. <https://doi.org/10.3390/polym12102302>
9. Lu Q., Pal R. Steady Shear Rheology and Surface Activity of Polymer-Surfactant Mixtures. Polymers, 2025, 17, 364. <https://doi.org/10.3390/polym17030364>
10. Fainerman A. E., Lipatov Y. S., Kulik V. M., Vologina L.I. A simple method for determining the surface tension and marginal wetting angles of liquids. Kolloid. Zh., 1970, 32(4): 620—623.
11. Lipatov Y. S., Fainerman, A. E. The concentration dependence of surface tension of polymer solutions. The Journal of Adhesion, 1971, 3(1): 3—12. <https://doi.org/10.1080/00218467108075001>
12. Rebinder P.A., Shchukin E.V. Selected Works: Surface Phenomena in Dispersed Systems. Edited by P.A. Rebinder. Moscow: Nauka. 1989: 411.
13. Williams R.J., Phillips J.N., Mysels K.J. The Critical Micelle Concentration of Sodium Lauryl Sulfate at 25°C. Trans Faraday Soc., 1955, 51: 728—737. <https://doi.org/10.1039/TF9555100728>
14. Malinovsky G.T. Oil cutting fluids for metal cutting. — M.: Chemistry. 1993: 160.
15. Barany, S. The interaction between high-molecular-weight flocculents and ionic surfactants. Colloid journal, 2002, 64: 533—537. <https://doi.org/10.1023/A:1020645522823>

Received 03.05.2025

Petro Logvynenko

ORCID: 0000-0003-0721-8128

Institute of Macromolecular Chemistry of the NAS of Ukraine

48 Kharkivske Highway, 02155, Kyiv, Ukraine

e-mail: petmol@ukr.net

Serhii Kobylynskyi

ORCID: 0000-0002-4915-2502

Institute of Macromolecular Chemistry of the NAS of Ukraine

48 Kharkivske Highway, 02155, Kyiv, Ukraine

Larysa Karsim

ORCID: 0009-0003-7707-1659

Institute of Macromolecular Chemistry of the NAS of Ukraine

48 Kharkivske Highway, 02155, Kyiv, Ukraine

Galyna Glieva

ORCID: 0000-0002-2916-0257

Institute of Macromolecular Chemistry of the NAS of Ukraine

48 Kharkivske Highway, 02155, Kyiv, Ukraine

Sergii Riabov

ORCID: 0000-0003-2996-3794

Institute of Macromolecular Chemistry of the NAS of Ukraine

48 Kharkivske Highway, 02155, Kyiv, Ukraine

SURFACE ABRASIVE TREATMENT OF STEEL IN BINARY AQUEOUS SOLUTIONS OF SODIUM CARBOXYMETHYL CELLULOSE — SODIUM LAURYL SULPHATE

Understanding the interaction between surfactants and polymers is currently needed to create new, highly effective media for the mechanical processing of metals. Since the efficiency of surface dispersion is mainly determined by wetting and penetrating properties (the Rebinder effect), a study was conducted on the influence of sodium lauryl sulfate (SLS) and the polyelectrolyte sodium carboxymethyl cellulose (Na-CMC) on the dispersing properties of their binary aqueous solutions (BAS).

Small additions of SLS to the Na-CMC solution were found to significantly affect the dispersing properties of the Na-CMC-SLS BAS. Both significant synergism of metal dispersion in the low Na-CMC and surfactant concentration range and antagonism of components in the high Na-CMC and low surfactant concentration range were observed. The antagonism of the components' effects in highly concentrated solutions of 0.25 % and 1 % Na-CMC-SLS is due to the formation of intermolecular complexes of Na-CMC-SLS, which significantly impact the rheological properties and, consequently, the penetrating and dispersing properties. The dispersing properties of the 0.05 % Na-CMC-SLS BAS are extremely dependent on the surfactant content due to a combination of positive effects from surface-active, rheological, and conductive properties.

Keywords: dispersion, metal, polyelectrolyte, surfactant, micelles, viscosity, conductivity.