

Валерій КОЛЕСНИКОВ^{1,2}

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМАЩУВАЛЬНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ РІДИН
НА РОБОЧІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ
КОРОЗІЙНОТРИВКИХ СТАЛЕЙ**

¹ *Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України
вул. Наукова, 5, 79060, м. Львів*

² *Луганський національний університет ім. Тараса Шевченка
м. Старобільськ, пл. Гоголя, 1, 92703, Україна.
. E-mail: kolesnikov197612@gmail.com.*

Valerii KOLESNIKOV^{1,2}

**RESEARCH OF INFLUENCE OF LUBRICANTS ON WORKING AND OPERATING
PROPERTIES OF CORROSION-STEEL STEELS**

¹ *Karpenko Physico-Mechanical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine
5, Naukova str. Lviv, 79060, Ukraine*

² *Luhansk Taras Shevchenko National University
1 Gogol Square, the City of Starobilsk, 92703, Ukraine.
E-mail: kolesnikov197612@gmail.com.*

ABSTRACT

The influence of lubricating and cooling liquids on the working and operational properties of high-nitrogen corrosion-resistant steels is investigated. It is established that during stabilization of stationary potentials of steels with machined surfaces, repackaging of 12Kh18AG18Sh occurs (increase of potential values from -330... -340 mV to 40... 60 mV). The use of lubricating cooling liquids (LCL) containing sunflower (LCLs) or rapeseed oil (LCLr), together with changing machining conditions, can affect the change in the morphology of chips of hard-to-cut steels. Reducing the size of the chips avoids damage to the machined surface and eliminates the use of imported high-value chip breakers. The analysis of cutting products and machined surfaces can allow you to choose the optimal parameters of the cutting process, as well as the cutting tool. It is established that the intensity of wear (P = 500 N) in comparison with the industrial oil I12A with the application of LCLs is lower by 45%, and at LCLr 35%.

KEY WORDS: *hard-to-cut alloys, of high-nitrogen corrosion-resistant steels, mechanical processing, emulsion cutting coolant, wear resistance.*

ВСТУП

У теперішній час широкого застосування набувають корозійнотривкі сталі, які містять високий вміст нікелю, марганцю, азоту та інших легуючих елементів, що дозволяє деталям з цих сплавів володіти підвищеними властивостями та мати широке коло застосування: в енергетиці, промисловості, медицині та ін.

Але виникає потреба у механічній обробці заготовок з цих матеріалів (бо зазвичай вони дуже важко оброблюються), а також дослідження експлуатаційних властивостей, наприклад, в умовах тертя та зношування.

Розвиток сучасних технологій машинобудування вимагає використання нових змащувально-охолоджувальних рідин (ЗОР), які дозволяють не лише покращувати механічну обробку високоміцних сталей та сплавів, але й проявляють підвищені протикорозійні властивості. Попередні напрацювання в цій сфері дозволили запропонувати як універсальний засіб застосовувати для цієї мети ЗОР, виготовлені на базі вітчизняної сировини [1-3].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Досліджувались зразки нових ЗОР (cutting coolant – СС) на основі соняшникової (ЗОРс, ССс), ріпакової (ЗОРр, ССр) олій та нафтової оливи (ЗОРн, ССр).

Для корозійних досліджень сталі 12Х18АГ18Ш використали: гравіметричні заміри на пластинах розміром 40x10x2 mm, а поляризаційні криві – на циліндрах діаметром 11,3 mm, попередньо запресовані у фторопласт.

Швидкість корозії розраховували за формулою: $K_m = \Delta m / (S \cdot \tau)$, g/(m²·h), де Δm – зменшення маси зразка після усунення продуктів корозії, g; S – площа зразка, m²; τ – час випробувань, h. Перерахунок на глибину корозії здійснювали за формулою: $\Pi = (K_m / \gamma) \cdot 10^{-3}$ mm/year, де K_m – швидкість корозії, g/m²·h; γ – густина металу, g/cm³.

Для сталі прийняли: $\Pi = (K_m \cdot 8,76 / 7,86) \cdot 10^{-3}$, mm/year. Ступінь захисту (Z) сталі від корозії за використання ЗОР визначали за формулою: $Z = ((K_b - K_{зор}) / K_b) \cdot 100\%$, де K_b – швидкість корозії у воді; $K_{зор}$ – швидкість корозії у ЗОР.

Використовували потенціостат EG&INSTRUMETS Model № 362 за швидкості розгортки потенціалу 10 mV/min. Електрохімічні характеристики (потенціал корозії $E_{сог}$, густину струму корозії $i_{сог}$, константи Тафеля катодної b_k та анодної b_a реакцій) визначали із потенціодинамічних поляризаційних кривих. Для електрохімічних досліджень використали стандартну триелектродну електрохімічну комірку з хлоридсрібним електродом порівняння, який підводили до досліджуваного електроду за допомогою електролітичного містка та капіляра Габера-Луггіна, а також з допоміжним платиновим електродом.

Шорсткість отриманої поверхні вимірювали на профілографі-профілометрі моделі 201 і оцінювали згідно з ДСТУ 2413-94 та ГОСТ 2789-73 за висотою мікровиступів. R_z , які визначали відповідно на нормованій базовій довжині.

Зносотривкість визначали на машині тертя СМТ1 (2070). Швидкість ковзання нижнього ролика становила 1480 RPM, а верхнього 1240 RPM (проковзування 15%). Нижній ролик (Ø42 mm) виготовлений зі сталі 45 (твердість 50...55 HRc), а верхній – з високоазотної сталі 12Х18АГ18Ш (твердість 40...42 HRc). Лінійна швидкість верхнього ролика – 2,27 m/s, а нижнього – 3,08 m/s. В умовах тертя навантаження становило 300...500 N.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Гравіметричними дослідженнями визначено, що швидкість корозії K_m сталі в 3% розчинах ЗОР на основі соняшникової, ріпакової олій та нафти, у порівнянні зі швидкістю корозії у воді, помітно знижується (табл. 1).

Таблиця 1. Корозійна тривкість сталі у 3% водних емульсіях ЗОР
Table 1. Corrosion resistance of steel in 3% emulsion cutting coolant

Матеріал	Середовище	$K_m \cdot 10^3$, g/(m ² ·h)	$\Pi \cdot 10^3$, mm/year	γ	Z, %
12Х18АГ18Ш	ЗОРс	0,19	0,2	2,8	64
	ЗОРр	0,26	0,3	2,0	51
	ЗОРн	0,28	0,3	1,9	47
	вода	0,53	0,6	-	-

Зміна потенціалу корозії сталей у різних ЗОР має подібний характер. Значення густини струму корозії для сталі 38ХНЗМФА залежить від природи основи ЗОР і зростає у такій послідовності: соняшникова < ріпакова < нафтова [2]. А для сталі 12Х18АГ18Ш така залежність відсутня (табл. 2).

Для визначення здатності ЗОР захищати від корозії поверхню механічно оброблених деталей були проведені електрохімічні дослідження полірованих зразків в ЗОР та мінералізованій воді. Вплив ЗОР на швидкість електродних процесів наведено на рис. 1.

Характер кривих для сталі 12Х18АГ18Ш (рис. 1) вказує на анодний характер електродних процесів. Стабільно пасивна область на анодній ділянці поляризаційних кривих спостерігається для 38ХНЗМФА – тільки у ЗОРр [2]. Це свідчить про утворення суцільної корозійно-тривкої плівки на цій сталі у вказаних середовищах.

Таблиця 2. Електрохімічні показники сталі визначенні на полірованій поверхні
Table 2. Electrochemical parameters of steel with a polished surface

Матеріал	Середовище, 3% mass.	Константи Тафеля, mV		$i_{cor} \cdot 10^4$ mA/cm ²	E_{cor} mV
		b_k	b_a		
12X18AG18Ш	ЗОРс	73,2	72,0	0,16	73
	ЗОРр	68,0	70,1	0,19	70
	ЗОРн	65,6	58,1	0,21	74
	Вода	63,4	69,8	0,59	71

Часові залежності електродних потенціалів для сталі 12X18AG18Ш, одержані після механічного оброблення (зріз поверхні зразка різцем на токарному верстаті) в ЗОР та воді, продемонстрували різну електрохімічну поведінку. Встановлено, що під час стабілізації стаціонарних потенціалів сталей з механічно обробленими поверхнями відбувається репасивація 12X18AG18Ш (зростання значень потенціалу від - 330...- 340 mV до 40...60 mV) (рис. 2).

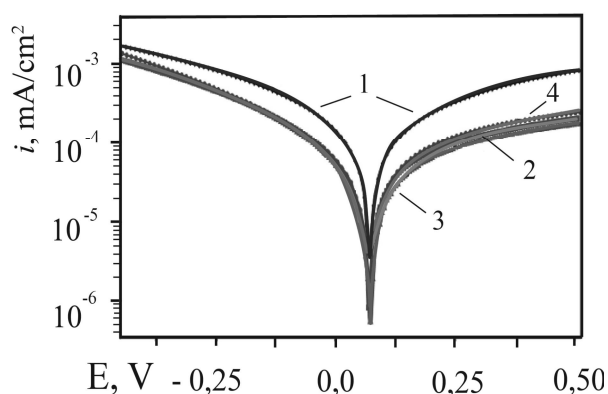


Рис.1. Поляризаційні криві сталі 12X18AG18Ш, отримані на зразках з полірованою поверхнею в середовищах: 1 – вода, 2 – ЗОРр, 3 – ЗОРс, 4 – ЗОРн.

Fig.1 Polarization curves of the 12Kh18AG18Sh steel, obtained on the samples with a polished surface:

1 – water, 2 – CCr, 3 – CCs, 4 – CCr.

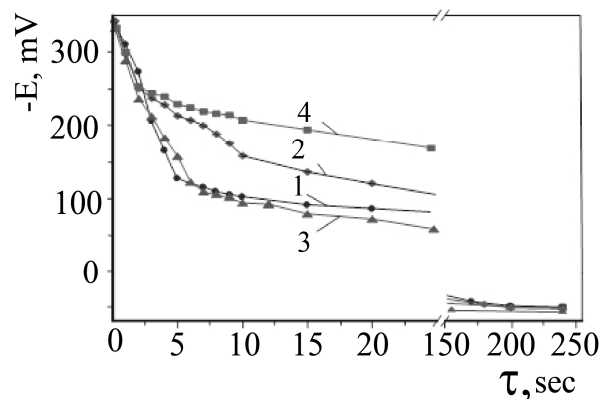


Рис. 2. Часові залежності електродного потенціалу сталі 12X18AG18Ш після механічної обробки в:

1 – воді, 2 – ЗОРр, 3 – ЗОРс, 4 – ЗОРн.

Fig. 2. Time dependences of the electrode potential of steel 12Kh18AG18Sh after machining in: 1 – water, 2 – ZORr, 3 – ZORs, 4 – ZORn.

Після механічного оброблення поверхні зразків у ЗОР, струми корозії обох сталей у середовищі всіх 3% ЗОР є на порядок більшими, ніж струми корозії полірованих зразків, що пов'язане зі збільшенням площі поверхні зразків.

Високоазотні аустенітні сталі відносять до важкооброблювальних. Під час їх механічної обробки виникають певні труднощі: внаслідок особливостей теплофізичних властивостей поверхня сталі нагрівається у порівнянні з іншими видами сталей (наприклад, феритно-перлітних), а довга стружка може пошкоджувати оброблювальну поверхню. Тому для уникнення цієї проблеми застосовують спеціальні стружколоми, а для зменшення нагрівання заготовки застосовують ЗОРі. Раніше було встановлено, що внаслідок застосування ЗОРів (розглянутих в цій роботі) для високонікелевих аустенітних сталей та сплавів фіксували підвищений вміст водню, який може змінювати умови руйнування поверхневих та підповерхневих шарів [3]. Зафіксовано, що при збільшенні швидкості обробки зі 100 до 500 грт відбувається зміна морфології стружки та її руйнування (зламування при 315 грт) (рис. 3). Римською цифрою *I* (рис. 3 *i*, *l*) позначено відокремлену частину стружки.

Аналіз стану поверхні зразків (разом з результатами з вимірювання шорсткості) сталі 12X18AG18Ш після точіння в ЗОР, який оцінений за допомогою сканівного електронного мікроскопа EVO-40XVP та оптичного Zeiss Stemi 2000 – C Stereo Microscopes з цифровими камерами SIGETA (Industrial color digital camera UCMOS 1300, 1.3 MP та SIGETA International

Color Digital Camera MCMOS 5100 5.1 MP.1, свідчить про позитивний вплив ЗОРс та ЗОРр на чистоту поверхні після обробки.

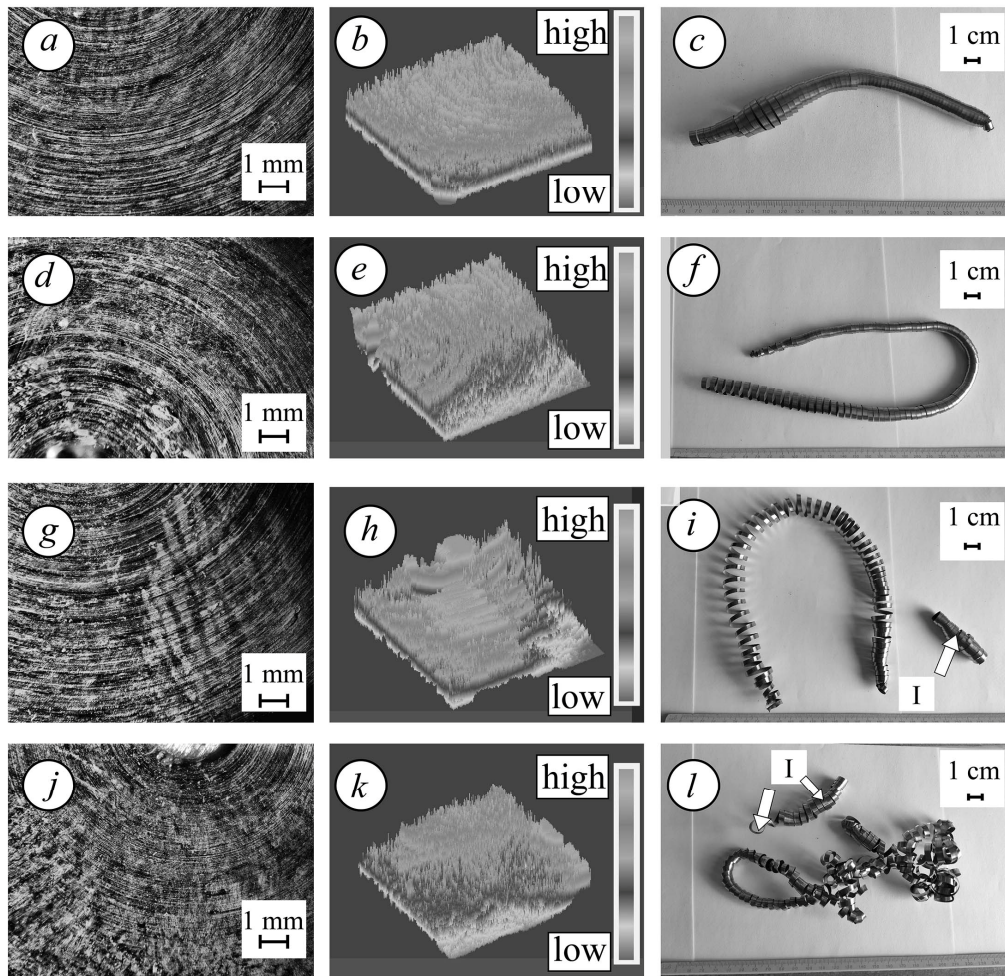


Рис.3. Поверхня зразків високоазотної сталі після точіння в ЗОРс: (100 грпм) – *a*; (200 грпм) – *d*; (315 грпм) – *g*; (500 грпм) – *j*; 3D візуалізація поверхні після точіння: (100 грпм) – *b*; (200 грпм) – *e*; (315 грпм) – *h*; (500 грпм) – *k*; стружка: (100 грпм) – *c*; (200 грпм) – *f*; (315 грпм) – *i*; (500 грпм) – *l*.
 Fig.3. Surface of *high-nitrogen* steel samples after turning in CCs: (100 grpm) – *a*; (200 grpm) – *d*; (315 grpm) – *g*; (500 grpm) – *j*; 3D visualization of the surface after turning: (100 grpm) – *b*; (200 grpm) – *e*; (315 grpm) – *h*; (500 grpm) – *k*; shavings: (100 grpm) – *c*; (200 grpm) – *f*; (315 grpm) – *i*; (500 grpm) – *l*.

Результати оцінювання шорсткості поверхні зразків сталі 12X18AG18Ш після точіння у вище перелічених середовищах, отримані після обробки профілограм, показали, що якість поверхні зразків сталі при точінні в ЗОРс покращилася майже в 1,5...2,0 рази у порівнянні з обробленням в ЗОРн та без оброблюваної рідини 12 раз, що показує перспективність використання рослинної олії для ЗОР.

Застосування ЗОР в якості змащувальної рідини в трибосполученні дозволили отримати наступні результати (рис. 4). Інтенсивність зношування ($P = 500 \text{ N}$) у порівнянні з індустріальним маслом І12А при застосуванні ЗОРс нижча на 45%, а при ЗОРр 35%.

Аналогічну поведінку в умовах механічної обробки та триботехнічних досліджень спостерігали і для високоазотних сталей імпортного виробництва, наприклад, Р900 та DDT 68.

Правильне застосування ефективних засобів протикорозійного захисту призводить до значних технічних успіхів. Встановлено, що збільшення концентрації ЗОР сприяє зменшенню швидкості корозії сталей під час оброблення перлітно-феритних сталей [2].

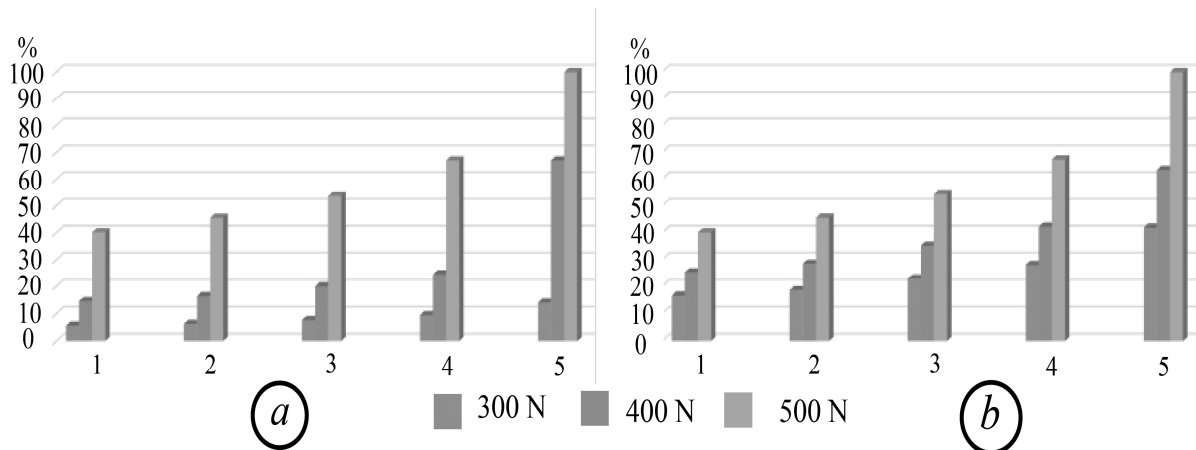


Рис. 4. Відносна інтенсивність зношування в умовах тертя кочення для: сталі 45 – *a*; сталі 12X18AG18Ш – *b*; Середовища: 1 – Shell HF-E 46 (синтетична олива); 2 – Shell HF-R (олива біологічного походження); 3 – ЗОРс (концентрація 3% mass); 4 – ЗОРр (концентрація 3% mass); 5 – олива індустріальна I12A.

Fig. 4. Relative wear rate under rolling friction for: 45 – *a* steel; steel 12Kh18AG18Sh - *b*; Environments: 1 – Shell HF-E 46 (synthetic oil); 2 – Shell HF-R (oil of biological origin); 3 – ZORs (concentration of 3% mass); 4 – ZORr (concentration of 3% mass); 5 – industrial I12A oil.

Післяопераційний захисний ефект ЗОР, оцінили за виглядом стружки – “індикатора” через 100 h після точіння. Підтвердили надійність захисної дії, а від так в трибосполученнях, де залучені не тільки корозійнотривкі сталі типу 12X18AG18Ш, але й феритно-перлітні, типу сталі 45, 38ХНЗМФА та ін. застосування ЗОРів буде дуже корисним, бо продукти зношування не будуть кородувати та шкодити технологічне обладнання.

ВИСНОВКИ

1. Виявлено, що застосування змащувальних охолоджувальних рідин, що містять соняшникову або ріпакові олії, дає змогу покращити механічну обробку аустенітних корозійнотривких сталей. Застосування ЗОРів такого типу дозволяє підвищити корозійну тривкість, а від так і довговічність верстатів на яких здійснюється механічна обробка.

2. Показано, що стружка та оброблювальна поверхня корозійнотривкі сталі можуть бути своєрідними індикаторами, які дають можливість аналізувати продуктивність процесів механічної обробки деталей та властивості матеріалу. Зафіксовано, що при збільшенні швидкості оброблюваності до 315 г/м відбувається зламвання стружки, що дозволило руйнувати та отримувати більш компактну стружку, без застосування дорогіших імпортованих стружколомів. Це допомогло уникати утворення довгої стружки, яка може пошкодити оброблювальну поверхню.

3. Встановлено, що застосування ЗОРів, що містять соняшникову або ріпакову оливу (за концентрацією 3 % mass) знижує інтенсивність зношування у трибосполученні (сталь 45 – корозійнотривка високототна сталь) в умовах тертя кочення у порівнянні з індустріальною оливою I12A.

ЛІТЕРАТУРА

1. Balyts'kyi, O.I., Kolesnikov, V.O., Havrylyuk, M.R. Influence of Lubricating Liquid on the Formation of the Products of Cutting of 38KhN3MFA Steel // Materials Science. – 2019 – Vol. 54. –P. 722. –727.
2. Колесніков В.О. Підвищення корозійної тривкості деталей з важкооброблюваної сталі під час механічного оброблення точінням // Матеріали XIV Міжнародної конференції "Проблеми корозії та протикорозійного захисту конструкційних матеріалів "КОРОЗІЯ-2018". 5 - 6 червня 2018 р., м. Львів. - С. 328 – 331.
3. Balitskii A., Kolesnikov V. Hydrogen Effects on the Formation of Nickel Based Superalloys Cutting and Wear Products. Loading and environment effects on structural integrity: 22nd European Conference on Fracture (ECF22): Book of abstracts of Int. Conf., 26–31 August 2018. Belgrade (Serbia): Published by the Society for Structural Integrity and Life, DIVK. – 2018. – P.182.