

визначали екстраполяцією тафелєвських ділянок поляризаційних кривих за допомогою комп'ютерної програми АСМ Analysis v4. Захисну ефективність інгібіторів корозії сталі досліджували методом електрохімічної імпедансної спектроскопії за потенціалу відкритого кола у діапазоні частот 10000...0,01 Гц на приладі Gill AC. Амплітуда прикладеного сигналу становила 10 мВ. Поверхню зразків сталі після витримки в корозивних середовищах вивчали на оптичному стереомікроскопі Carl Zeiss Stemi 2000.

Поляризаційними дослідженнями виявлено, що після 24 годин експозиції найсильніший захисний ефект на сталі спостерігався в корозивному розчині, інгібованому композицією "КК+ГК". Тут струм корозії металу був меншим в 2 рази порівняно з розчинами, інгібованими окремими компонентами цієї композиції. Слід зауважити, що полісахаридний інгібітор більше сповільнює катодну реакцію електрохімічної корозії сталі, а глюконат кальцію – анодну. Водночас корозія сталі в розчині, інгібованому композицією "КК+ГК", протікає під змішаним контролем. Інгібувальна композиція проявляє синергізм захисної дії, який імовірно може бути зумовлений утворенням її складовими комплексів з іонами  $Fe^{2+}$ , а також додатковим закриттям анодних ділянок на сталі під впливом глюконату. Утворені комплекси з іонами заліза, утворюють стійку захисну плівку на сталі. Захисний ефект в розчині, інгібованому композицією "КК+ГК", спостерігається і після 120 годин експозиції.

Дослідження методом електрохімічної імпедансної спектроскопії виявили, що залежність модуля імпедансу зразків сталі Ст 3 від частоти прикладеного струму при додаванні в корозивний розчин ксантанової камеді та ГК суттєво збільшується. В розчині, інгібованому композицією „КК + ГК”, модуль імпедансу  $Z$  найсильніше залежить від частоти струму, що свідчить про найбільшу корозійну тривкість зразків сталі. Виходячи з форми імпедансних залежностей, можна говорити про значне підвищення захисної дії ксантанової камеді за її сумісного використання в композиції з глюконатом. Захисну ефективність інгібіторів оцінювали за значеннями різниці  $\Delta Z = Z_{0,1} - Z_{1000}$ , між значеннями імпедансу сталевих електродів в середовищі при частотах 0,1 та 1000 Гц. Встановлено, що після 120 годин експозиції в інгібованому ксантановою камеддю хлоридному розчині  $\Delta Z$  сталі більший в 4,8 разів у порівнянні з неінгібованим середовищем. За додавання до середовища лише одного глюконату цей показник зростає в 6 разів, а під впливом інгібіторної композиції „КК + ГК” він підвищується у 11,4 рази. Зміщення максимуму частотної залежності фазового кута зразків сталі в корозивному розчині, інгібованому композицією "КК + ГК" в діапазон 1 - 10 Гц може свідчити про формування на поверхні металу захисної плівки на основі ксантанового біополімеру. За даними імпедансної спектроскопії ступінь захисту сталі інгібіторною композицією становить 92%.

Таким чином встановлено, що природний полімер ксантанова камідь є ефективним інгібітором корозії вуглецевої сталі в хлоридному розчині за рахунок адсорбції й утворення комплексів з іонами заліза. Додавання в корозивне середовище глюконату кальцію синергічно посилює інгібування корозії ксантановою камеддю. Результати електрохімічної імпедансної спектроскопії свідчать про формування захисного бар'єрного шару на сталі в середовищі під впливом інгібіторної композиції „КК+ГК”.

1. Брегман Дж. И. Ингибиторы коррозии. – Л.: Химия, 1966. – 155 с. 2. Chromate replacement: what does the future hold / O.Gharbi, S.Thomas, C.Smith and N. Birbilis. // *npj Materials Degradation*. – 2018. – V.2. – Article N12. 3. Fathima Sabirneeza A.Ali, Geethanjali R., Subhashini S. Polymeric corrosion inhibitors for iron and its alloys: A review // *Chemical Engineering Communications*. – 2015. – V.202. – P.232-244.

УДК 621.9

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ АУСТЕНІТНОЇ ВИСОКОНІКЕЛЕВОЇ СТАЛІ (ЕП33, 10Х11Н23Т3МР)

STUDY OF THE TOOLING OF AUSTENITIC HIGH-NICKEL STEEL (EHP33, 10H11N23T3MR)

Валерій Колесніков<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,  
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79060, Україна;<sup>2</sup>Луганський національний університет імені Тараса Шевченка,  
площа Гоголя 1, Старобільськ, 92703, Україна

*A study of the tooling of high-nickel steel (EhP33, 10H11N23T3MR) was carried out. Machining was carried out in the mode of turning. The experiments were carried out under lubrication conditions with various coolants and at different speeds and feeds.*

Відомо, що деталі виготовлені з високонікелевих сталей завдяки своїм високим фізико-механічним властивостям знаходять своє застосування у різних галузях: енергетиці, машинобудуванні та ін. Цей вид сплавів відносять до важкооброблювальних.

У роботі продовжено дослідження робочих та експлуатаційних властивостей аустенітних сталей [1 – 5]. Досліджувана сталь (ЕП33, 10Х11Н23Т3МР) мала наступний хімічний склад: (мас. %): С < 0,1; Si < 0,6; Mn < 0,6; Ni (21 - 25); Cr (10,0 - 12,5); Mo (1,0 - 1,6); Ti (2,6 - 3,2); Al < 0,8; В < 0,02; S < 0,001; Р < 0,025. У мікроструктурі сплавів зафіксовано аустенітну металеву матрицю.

Досліджено механічну оброблюваність високонікелевих сталей в умовах свердління та точіння за різних умов мащення. В якості мастильних охолоджувальних рідин (МОР) використовували зразки нових МОР на основі ріпакової (МОРр), соняшникової (МОРс) олій та нафтової оливи (МОРн) – ЕТ-2У (ТУ У 00152365.133 - 2001), їхні концентрати та модифікатори олій (моноетаноламін (МЕА) та триетаноламін (ТЕА)) [6, 7], також проводили різання з водою. На продуктах та поверхнях різання корозійних пошкоджень не зафіксовано.

Стружку отримували, відрізаючи на токарно-гвинторізному верстаті МК 6141 від заготовок сталі круги  $\varnothing 22 - 30$  mm (рис. 1). Використовували відрізний різець оснащений твердосплавною пластиною ВК-6, а також прохідні різці інших марок, призначені для обробки кованих, жароміцних та важкооброблювальних сплавів.



Рис. 1. Продукти різання з високонікелевої сталі, отриманні при швидкості різання 315 об/хв, подача 0,2 мм/об при додаванні води в зону різання. Зовнішній вигляд продуктів різання (стружка) – а; поверхня різання – б; комп'ютерна візуалізація поверхні різання – с

Для створення однакових умов точіння різець заточували та виставляли однаковий кут між різцем та заготовкою. Послідовно проведено експерименти під час точіння з МОР за 100, 200, 315, 500 (об/хв.). Відрізання заготовок робили як при ручній так і механічній подачі  $S = 0,1$  або  $0,2$  (мм/об). Глибина різання складала від  $0,1 \dots 0,25$  мм. Параметри мікроструктури сталі визначали на мікроскопі ЛОМО ЕС МЕТАМ РВ 21. Особливості морфології стружки вивчали на мікроскопі ZEISS Stemi 2000C. Обидва мікроскопи оснащені камерою SIGETA International Color Digital Camera MCMOS 5100 5.1 MP.1.

Кількісну оцінку фазового складу мікроструктури сплавів, а також розміри пошкоджень на поверхнях різання проводили за допомогою комп'ютерної обробки зображень мікроструктури (програмний комплекс TOUP VIEW 3.7). Макрознімання продуктів різання здійснено за допомогою цифрової камери Canon SX100 IS.

З рис. 1а бачимо, що серед продуктів різання зустрічаються стружки: зливного виду (I), у вигляді хорди (II), прямокутної форми (III), заплутаної форми (IV), сформовані у вигляді неповних спіралей (V) та сформовані у вигляді правильної спіралі однакового діаметра (VI) та ін. Різноманітність форм свідчить про різний характер руйнування та формування стружки під час механічної обробки аустенітних високонікелевих сплавів.

Попередні дослідження дозволили встановити, що під час механічної обробки високонікелевих сплавів із застосуванням води та різних МОР зафіксовано підвищення концентрації водню та кисню в стружці, що свідчить про протікання дифузійних процесів у зоні різання [8, 9]. Якщо оброблюваність сталі 45 обрати за 1, то для досліджених аустенітних сталей вона буде складати 0,4 – 0,55.

1. Balyts'kyi O.I., Kolesnikov V.O., Kawiak P. *Triboengineering properties of austenitic manganese steels and cast irons under the conditions of sliding friction* // *Materials Science*. – September 2005, Volume 41, Issue 5, pp 624 – 630. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11003-006-0023-7>. 2. Balyts'kyi O.I., Kolesnikov V.O. *Investigation of wear products of high-nitrogen manganese steels* // *Materials Science*. – July 2009, Volume 45, Issue 4, pp 576–581. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11003-010-9216-1>. 3. Kolesnikov V.O. *Investigation of the wear products of high-nitrogen steel after hydrogenation* // *Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa XA/2010*. 4. *Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture – OLPAN, 2010, 10A, 271.* – 275 p. URL: <http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/TMot10a/Kolesnikov.pdf/>. 5. *Study of the wear resistance of high-nitrogen steels under dry sliding friction* // O. I. Balyts'kyi, V. O. Kolesnikov, and J. Elias // *Materials Science*, March 2013, Volume 48, Issue 5, pp 642 – 646. URL: <http://link.springer-com-443.webvpn.jxust.edu.cn/article/10.1007%2Fs11003-013-9549-7>. 6. Balyts'kyi O.I., Kolesnikov V.O., Elias Y., Havrylyuk M.R. *Specific Features of the Fracture of Hydrogenated High-Nitrogen Manganese Steels Under Conditions of Rolling Friction* // *Materials Science*. – January 2015, Volume 50, Issue 4, pp 604–611. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11003-015-9760-9>. 7. Балицький О.І., Гаврилюк М.Р., Дев'яткін Р.М., Колесніков В.О., Федусів І.Р. *Концентрат змащувально-охолоджуючої рідини для механічної обробки металів. Патент на корисну модель № 106988 України, МПК (2016.01) С10М 173/00, С10М 133/06 (2006.01), С10М 129/56 (2006.01). Заявка № и 2015 12667; Заявлено 21.12.2015. Опубліковано 10.05.2016. Бюл.№9.- 4 с.* URL: <http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=223418>. 8. Балицький О.І., В. О. Колесніков, Гаврилюк М. Р. *Вплив змащувальної охолоджувальної рідини на формування продуктів різання сталі 38ХНЗМФА* // *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. – 2018. – № 5 – 103-107. URL: [https://www.researchgate.net/publication/331877029\\_Fiziko-himicna\\_mehanika\\_materialiv-2018-No\\_5-Physicochemical\\_Mechanics\\_of\\_Materials\\_UDK\\_621](https://www.researchgate.net/publication/331877029_Fiziko-himicna_mehanika_materialiv-2018-No_5-Physicochemical_Mechanics_of_Materials_UDK_621). 9. *Дослідження впливу змащувально-охолоджувальних рідин на оброблюваність високоміцних металів* // О. Балицький, М. Гаврилюк, В. Колесніков // *Тез. доп. 5-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій»*. 27-28 жовтня – Львів: КІНПІАТPI ЛТД. – 2016. – С. 17 -18. 10. Balitskii A., Kolesnikov V. *Hydrogen Effects on the Formation of Nickel Based Superalloys Cutting and Wear Products* / *Abstracts of the 22nd European Conference on Fracture - ECF22*, 26 – 31 August, 2018, Belgrade, Serbia. – P. 182. URL: [https://www.researchgate.net/publication/331653102\\_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\\_Fra](https://www.researchgate.net/publication/331653102_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_Fra).

УДК 669.295:621.785

## ТРИБОТЕХНІЧНА ПОВЕДІНКА ТИТАНОВОГО СПЛАВУ VT22 З ПОВЕРХНЕВИМИ МОДИФІКОВАНИМИ ШАРАМИ

## TRIBOTECHNICAL BEHAVIOR OF VT22 TITANIUM ALLOY WITH SURFACE MODIFIED LAYERS

Сергій Лаврись, Ірина Погрелюк

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

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»  
УКРАЇНСЬКЕ ТОВАРИСТВО З МЕХАНІКИ РУЙНУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ  
НАУКОВЕ ТОВАРИСТВО ІМЕНІ ШЕВЧЕНКА



# **14-й МІЖНАРОДНИЙ СИМПОЗИУМ УКРАЇНСЬКИХ ІНЖЕНЕРІВ-МЕХАНІКІВ У Львові**

Матеріали симпозиуму

**14-th International Symposium of Ukrainian Mechanical Engineers in Lviv**

Proceedings

**Львів**

**23 — 24 травня 2019 р.**

**Ч 665**  
**УДК 531+621+669+681**

14-й Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові (м. Львів, 23 травня – 24 травня 2019 р.) : Матеріали симпозіуму. – Львів : КІНПАТРІ ЛТД, 2019. – 174 с.

Опубліковані матеріали доповідей, виголошені авторами на 14-му Міжнародному симпозіумі українських інженерів-механіків у Львові. До збірника увійшли праці, які стосуються проблем статичної та динамічної поведінки пружних і пружно-пластичних систем, міцності та надійності машин і приладів, математичних основ теорії тріщин, машинознавства, синтезу й оптимізації машинобудівних конструкцій, технології та автоматизації виробництва, функціональних і конструкційних матеріалів, поверхневого оброблення та захисту деталей машин і конструкцій, трибології, зварювального виробництва і діагностики металевих конструкцій, проектування, виготовлення, експлуатації і сервісу транспортних засобів, піднімально-транспортних машин, вібротехніки та вібраційних технологій.

Для наукових працівників, аспірантів, викладачів закладів вищої освіти, інженерів та студентів.

**Редакційна колегія:**

О. Андрейків, І. Дмитрах, Б. Кіндрацький (голова), Р. Качмар (секретар),  
Р. Кушнір, О. Ланець, В. Панасюк, Г. Сулим

<b>СЕКЦІЯ 5. Сучасні матеріали, поверхнєве оброблення та захист деталей машин і конструкцій .....</b>	<b>155</b>
Дзюбик А. Особливості формування залишкових зварювальних деформацій при застосуванні різних типів зварних швів .....	155
Зінь І., Похмурський В., Тимусь М., Корній С., Хлопик О. Застосування природного полісахариду для захисту сталі від корозії.....	156
Колесніков В. Дослідження механічної обробки аустенітної високонікелевої сталі (ЕП33, 10Х11Н23ТЗМР) .....	157
Лавриць С., Погрелюк І. Триботехнічна поведінка титанового сплаву VT22 з поверхневими модифікованими шарами.....	159
Паздрій І., Склярчук В. Структурні критерії формування фазового складу еквіатомних сплавів.....	161
Посвятенко Е., Аксьом П., Будяк Р. Поліпшення оброблюваності різанням пластичних матеріалів.	163
Пулька Ч., Сенчишин В., Шарик М. Пристрій для керування енергоощадним режимом при індукційному наплавленні тонких елементів конструкцій.....	164
Стечишин М., Курской В., Лук'янюк М., Люховець В. Фізико-хімічні властивості та зносостійкість азотованої сталі 38ХМЮА .....	166

*Наукове видання*

**14-й МІЖНАРОДНИЙ СИМПОЗИУМ  
УКРАЇНСЬКИХ ІНЖЕНЕРІВ-МЕХАНІКІВ  
У ЛЬВОВІ**

Матеріали симпозиуму

ТзОВ «КІНПАТРІ ЛТД»

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготвіників і розповсюджувачів  
видавничої продукції ЛВ №39 від 10.08.2005.

Підписано до друку 14.05.19 р.  
Формат 60×84 1/8. Папір офсетний. Друк RIZO.  
Умов. друк. арк. 20,23.  
Зам. 05-2/19

Надруковано з готового оригінал-макете  
у Дослідно-видавничому центрі  
Наукового товариства імені Шевченка,

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру  
суб'єктів видавничої справи ДК №884 від 04.04.2002 р.

Колесніков В. Дослідження механічної обробки аустенітної високонікелевої сталі (EP33, 10X11N23T3MP) // Матеріали.14-й Міжн. симпозиум українських інженерів-механіків у Львові. Матеріали. – Львів. 23-24 травня 2019. - С. 157 - 159.

Kolesnikov V. Study of the tooling of austenitic high-nickel steel (ENP33, 10H11N23T3MR) // Proc. of the 14-th International Symposium if Ukrainian Mechanical Engineers in Lviv. - Lviv, Ukraine, 23-24 May 2019. - P. 157 - 159.

Колесников В. Исследование механической обработки аустенитной высоконикелевой стали (ЭП33, 10X11N23T3MP) // Материалы.14-й Межд. симпозиум украинских инженеров-механиков во Львове. Материалы. - Львов. 23-24 мая 2019 - С. 157 - 159.

[https://www.researchgate.net/publication/333547237\\_Kolesnikov\\_V\\_Doslidzenna\\_mehanicnoi\\_obrobki\\_austenitnoi\\_visokonikelevoi\\_stali\\_EP33\\_10H11N23T3MR\\_Materiali14-j\\_Mizn\\_simpozium\\_ukrainskii\\_inzeneriv-mehanikiv\\_u\\_Lvovi\\_Materiali\\_-\\_Lviv\\_23-24\\_travna\\_2019\\_-](https://www.researchgate.net/publication/333547237_Kolesnikov_V_Doslidzenna_mehanicnoi_obrobki_austenitnoi_visokonikelevoi_stali_EP33_10H11N23T3MR_Materiali14-j_Mizn_simpozium_ukrainskii_inzeneriv-mehanikiv_u_Lvovi_Materiali_-_Lviv_23-24_travna_2019_-)