

Припускаючи, що КІН $K_I(x, y)$ уздовж контуру тріщини, в основному, змінюється наближено за лінійним законом, то для його визначення біля контуру тріщини запишемо наближено вираз

$$K_I[l_2 + y(l_1 - l_2)h^{-1}, y] = S\sqrt{pl_2} \{ [e + a(1 - e)](1 - b) + be^{-0.5} [e + g(1 - e)] \}, \quad (4)$$

де $e = l_2 l_1^{-1}$, $a = d_1^{-1} h$, $b = y h^{-1}$, $g = l_1^{-1} h$.

Застосовуючи математичну модель (2), (3) з урахуванням співвідношення (4), розв'язано задачу про визначення залишкового ресурсу (періоду докритичного росту тріщини) двошарової пластини з тріщиною, де шар товщиною h_1 , виготовлений зі сталі 321, а шар товщиною h_2 – зі сталі 15Х1М1Ф.

Поряд з цим математичну модель (2), (3) узагальнено на випадок поширення систем тріщин високотемпературної повзучості в двошарових пластинах. Розглянуто конкретні випадки періодичної і двоякоперіодичної систем тріщин. Аналогічно до вищенаведеної методики розроблено розрахункові моделі для дослідження кінетики і періоду докритичного росту втомних тріщин у біметалевих пластинах, що дало змогу розрахувати залишковий ресурс двошарової і двокомпонентної пластин з поверхневою і наскрізною тріщинами.

1. Андрейків О.Є., Сас Н.Б. Математична модель для визначення періоду докритичного поширення тріщин високотемпературної повзучості в твердих тілах // Доповіді НАН України. – 2006. – № 5. – С. 47–52.

УДК 621.9

ВПЛИВ ТИПУ МЕТАЛЕВОЇ МАТРИЦІ НА МЕХАНІЧНУ ОБРОБЛЮВАНІСТЬ СТАЛЕЙ ТА СПЛАВІВ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИКИ

INFLUENCE OF METALIC MATRIX TYPES ON THE TOOLING OF STEELS FOR POWER ENGINEERING

Олександр Балицький¹, Валерій Колесніков^{1,3}, Яцек Еліаш², Марія Гаврилук¹

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

²Західнопоморський технологічний університет в Щеціні,
алея Піастів, 19, м. Щецин, 70310, Польща;

³ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»,
пл. Гоголя, 1, м. Старобільськ, 92703, Україна

Steel 45 was adopted as a reference for the remaining alloys were arranged in the following sequence: austenitic steel (EhP33, 10H11N23T3MR) 0,4 – 0,55, high-nitrogen austenitic steels (P900, 12Ch18AG18Sh) 0,22 – 0,48, nickel-cobalt NiCo15Cr9W6Al5 Mo4 (ЕП-741НП)) NiCr14Co10Mo5Al3Ti3 (ЕП-742ІД) (0,1 – 0,12). The morphology of the chips formed during turning of the billet of steel in dry conditions, with water and lubricating and cooling liquid (LCL) was studied. Corrosive damage is noted on the surface of the formed chips during turning with water. It is shown that using coolant reduces the size and form compact wrapped forms of chips.

В енергетиці застосовують деталі з різними типами металевої матриці, що позначається на їх механічній оброблюваності. В якості еталона обирали сталь 45 ($S_g = 650 - 750$ МПа, HB 180 – 220) [1]. Коефіцієнт оброблюваності $K_{обр}$, визначають за формулою:

$$K_{обр} = \frac{V_{60}^A}{V_{60}^B},$$

де V_{60}^A – швидкість різання при $T = 60$ хв, що характеризує оброблюваність досліджуваного матеріалу А; V_{60}^B – швидкість різання при $T = 60$ хв, що характеризує оброблюваність еталонного матеріалу Б. Для сталі 45 $K_{обр} = 1$.

Важкооброблюваними сплавами вважаються такі, де $K_{обр} \leq 1$. Обробка металів різанням є складним процесом, що включає, крім тертя, пластичне деформування та руйнування оброблюваного матеріалу. Причому ці явища протікають у граничних специфічних умовах.

У праці продовжено дослідження експлуатаційних властивостей аустенітних сталей [2 – 5]. Досліджували сталі: сплав № 1 – Сталь 45; сплав № 2 – сталь ЕП33, 10X11H23T3MP; сплав № 3 – сталь P900, 12X18AГ18Ш; сплав № 4 – NiCo15Cr9W6Al5 Mo4 (ЕП-741НП), NiCr14Co10Mo5Al3Ti3(ЕП-742ІД) (рис. 1).

Досліджено механічну оброблюваність сплавів під час точіння за різних умов машення. В якості мастильно-охолоджувальних рідин (МОР) використовували зразки МОР на основі ріпакової (МОРр), соняшникової (МОРс) олій та нафтової оливи (МОРн) [6], а також з водою. Стружку отримували, відрізаючи на токарно-гвинторізному верстаті, від заготовок сталі круги $\sim \varnothing 28$ mm. Використовували відрізний різець оснащений твердосплавною пластиною ВК-6. 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) та подачі $S=0,1$ мм/об. Глибина різання складала від 0,1...0,25 мм. Параметри мікроструктури сталі визначали на мікроскопі ЛОМО ЕС МЕТАМ РВ 21. Для отримання мікрошліфів використано травник: 4% розчин азотної кислоти. Особливості морфології стружки вивчали на мікроскопі ZEISS Stemi 2000C. Обидва мікроскопи оснащені камерою SIGETA International Color Digital Camera MCMOS 5100 5.1 MP.1.

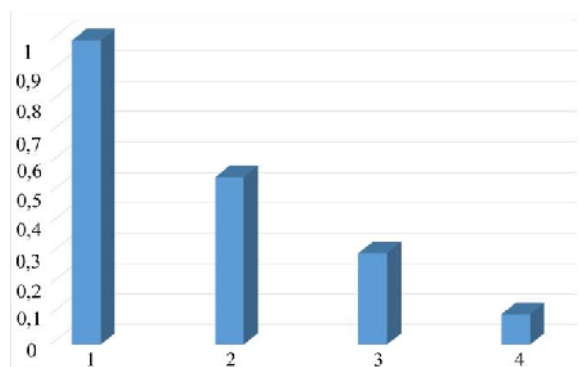


Рис. 1. Відносна оброблюваність досліджених матеріалів: 1 – Сталь 45, 2 – Сталь ЕП33, 10X11H23T3MP; 3 – високоазотна сталь P900, 12X18AГ18Ш; 4 – Ni-Co сплав (NiCo15Cr9W6Al5Mo4 (ЕП-741НП))

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). Макрофотографування продуктів різання здійснено за допомогою цифрової камери Canon SX100 IS. Для високоазотних сталей, виявлено вплив σ – фази та зафіксовано появу мартенситу деформації.

Під час досліджень виявлено вплив водню, що проникає з охолоджувальної рідини [7]. У зоні точіння існують умови (температура, високі тиски, каталітичний вплив ювенільних поверхонь металу) за яких можливе протікання хімічної взаємодії між молекулами зовнішнього середовища та

оброблюваним металом. За рахунок термомеханічної деструкції органічних воденьвмісних сполук МОР у процесі обробки утворюються активні радикали жирних кислот, вуглеводневі радикали та атомарний водень. Водень локалізує та інтенсифікує процеси пластичної деформації і полегшує руйнування за рахунок проникнення до утвореної випереджаючої мікротріщини. Активні радикали за рахунок хемосорбції взаємодіють з ювенільною поверхнею оброблюваної деталі та інструментом, зменшуючи енергозатрати під час точіння. Оброблюваність сплавів стосовно металевої матриці розташована в такій послідовності: ферито-перлітна, аустенітна, сталі з високоазотним аустенітом та сплави, що містять $\gamma+\gamma'$ - фази.

1. Основы теории резания материалов: учебник / Мазур Н.П., Внуков Ю.Н., Грабченко А.И. и др.; под общ. Ред. Н.П. Мазура. – 2-е изд., перераб. – Харьков : НТУ «ХПИ». 2013. – 534 с. 2. 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.* – 2005. – 41 – № 5. – P. 624–630. 3. Balyts'kyi O.I., Kolesnikov V.O. *Investigation of wear products of high-nitrogen manganese steels. Materials Science.* – 2009. – 45 – № 4. – P. 576–581. 4. O. I. Balyts'kyi, V. O. Kolesnikov, and J. Elias. *Study of the wear resistance of high-nitrogen steels under dry sliding friction. Materials Science.* – 2013. – 48. – № 5. – P. 642–646. 5. 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.* – 2015. – 50 – № 4. – P. 604–611. 6. Балицький О.І., В. О. Колесніков, Гаврилюк М. Р. Вплив змащувальної охолоджувальної рідини на формування продуктів різання сталі 38ХНЗМФА. *Фіз.-хім. механіка матеріалів.* – 2018. – 54 – № 5. – С. 103–107. 7. 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.

УДК 621. 791. 3

ОСОБЛИВОСТІ ЛЕГУВАННЯ ПРИПОЇВ ДЛЯ ЖАРОМІЦНИХ НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

FEATURES OF ALLOYING BRAZING COMPOSITIONS FOR HIGH-TEMPERATURE NICKEL ALLOYS FOR NEW GENERATION TURBINES

Віктор Квасницький¹, Георгій Мьяльниця², Максим Матвієнко³, Євген Бутурля³

¹Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна;

²Державне підприємство Науково-виробничий комплекс газотурбобудування «Зоря-Машпроект»,
просп. Богоявленський, 42а, м. Миколаїв, 54018, Україна;

³Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025, Україна

This work is dedicated to the brazing of the nickel heat-resistant alloys of the new generation. For turbines the actual task is the increase of their efficiency for this it is necessary to increase the temperature of the brazed joints and the temperature of the brazing.

У сучасному газотурбобудуванні основним конструкційним матеріалом є жароміцні нікелеві сплави. Підвищення температури робочого газу, ефективності і ресурсу енергетичних установок вимагає удосконалення конструкції деталей та розроблення нових жароміцних матеріалів, здатних протистояти комплексу факторів впливу, існуючих у реальних умовах їх роботи. Авіаційні турбіни працюють на чистому авіаційному паливі з низьким вмістом шкідливих домішок, зокрема сірки, і традиційно мають більш високі температури газу, порівняно з морськими. Паливо морських турбін містить сірку, натрій тощо, а в продуктах згорання палива містяться солі, що потрапляють з парами води. Тому лопатки морських газових турбін піддаються інтенсивній корозії, швидкість якої може бути в сотні разів більшою від швидкості корозії на повітрі або в атмосфері кисню. Цей вид корозії

ЗМІСТ

ПЛЕНАРНІ ЗАСІДАННЯ	3
Августі Е., Гелетій В., Ланець О. Порівняльний аналіз стандартів України і ЄС в машинобудуванні..	3
Андрейків О., Скальський В., Долінська І., Райтер О. Оцінка залишкового ресурсу двошарових тонкостінних елементів конструкцій за довготривалого навантаження	4
Балицький О., Колесніков В., Еліаш Я., Гаврилюк М. Вплив типу металевої матриці на механічну оброблюваність сталей та сплавів для енергетики	6
Квасницький В., Мьяльниця Г., Матвієнко М., Бутурля Є. Особливості легування припоїв для жароміцних нікелевих сплавів нового покоління	8
Матейчик В., Цюман М., Смешек М. Інформаційно-вимірювальна система для дослідження експлуатаційних показників енергоустановок транспортних засобів.....	9
Никифорчин Г., Цирульник О., Звірко О. Розвиток нових підходів щодо діагностування корозійно-механічної деградації трубних сталей.....	11
Похмурський В., Зінь І., Хлопик О., Тимусь М., Білий Л. Захист від трибокорозії алюмінієвого сплаву фосфат-нітратною композицією в середовищі кислих атмосферних опадів	13
Струтинський В., Гусяков О. Обґрунтування критеріїв аналізу масогабаритних параметрів наземних роботизованих комплексів спеціального призначення.....	15
Ткачук-мол. М., Грабовський А., Ткачук М. Мікромеханічні моделі для дослідження напружено-деформованого стану елементів конструкцій.....	17
Шульженко М., Колядюк А. Термопружний стан і повзучість корпусу регулювального клапана парової турбіни	18
СЕКЦІЯ 1. Механіка руйнування матеріалів, діагностика і цілісність конструкцій	21
Балицький О., Квасницька Ю., Мьяльниця Г., Іваськевич Л. Довготривала міцність і термічна стабільність литих жароміцних корозійностійких лопаткових нікелевих сплавів	21
Біблік І. Нейромережева модель для прогнозування втомної міцності поверхнево зміцнених матеріалів	23
Войтович М., Лампіка Р. До розрахунку термонапруженого стану тонкостінних стрижнів закритого профілю	25
Гарматій Г., Кушнір Р. Визначення неусталеного теплового стану кусково-однорідних термочутливих елементів конструкцій за складного теплообміну	26
Гонтаровський П., Мележик І., Гармаш Н., Шульженко М. Оцінка росту тріщин у пружно-пластичній постановці при циклічному навантаженні смуги.....	28
Квасницький В., Матвієнко М., Квасницький В., Бутурля Є. Вплив товщини проміжного прошарку на напружено-деформований стан спаяних з'єднань жароміцних нікелевих сплавів	30
Марчук М., Пакош В., Харченко В., Хом'як М. Розрахунок міцності стиків елементів конструкцій ракетно-космічної техніки з шаруватих композитів.....	32
Махоркін М., Махоркіна Т. Антиплоска деформація композитного клина з клиновидною вставкою з функціонально-градієнтного матеріалу	33
Михайлишин В. Оптимізація геометричної конфігурації муфти при її термічній усадці на з'єднуванні труби.....	35
Огірко І., Бритковський В., Огірко О. Моделювання явищ деформації в етикетці під час її експлуатації.....	37
Онишкевич В. Моделювання зношування при плоскому контакті прямокутного штампа і пружної півплощини	38
Поліщук О., Тертишний І., Шульженко М. Контроль наявності тріщин у нарізних з'єднаннях вихрострумовим методом	40
Пономаренко О. Вплив двох кругових отворів, з'єднаних тріщиною, на концентрацію напружень у безмежній пластині за одночасної дії розтягу і зсуву.....	42
Почапський Є., Клим Б., Мельник Н., Великий П. Діагностування стану тривалоексплуатованих трубних сталей методом магнетопружної акустичної емісії.....	44
Рудавський Д., Канюк Ю., Шефер М. Ріст втомної тріщини в шийці осі залізничної колісної пари ...	46

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



14-й МІЖНАРОДНИЙ СИМПОЗІУМ УКРАЇНСЬКИХ ІНЖЕНЕРІВ-МЕХАНІКІВ У ЛЬВОВІ

Матеріали симпозиуму

14-th International Symposium of Ukrainian Mechanical Engineers in Lviv

Proceedings

Львів

23 — 24 травня 2019 р.

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

Наукове видання

**14-й МІЖНАРОДНИЙ СИМПОЗІУМ
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.

Балицький О., Колесніков В., Еліаш Я., Гаврилюк М. Вплив типу металевої матриці на механічну оброблюваність сталей та сплавів для енергетики // Матеріали. 14-й Міжн. симпозиум українських інженерів-механіків у Львові. Матеріали. – Львів. 23-24 травня 2019. - С. 6-8.

Balitskii A., Kolesnikov V., Elias J., Havrylyuk M. Influence of metallic matrix types on the tooling of steels for power engineering // Proc. of the 14-th International Symposium if Ukrainian Mechanical Engineers in Lviv. - Lviv, Ukraine, 23-24 May 2019. - P. 6-8.

Балицкий А., Колесников В., Элиаш Я., Гаврилюк Н. Влияние типа металлической матрицы на механическую обрабатываемость сталей и сплавов для энергетики // Материалы. 14-й Межд. симпозиум украинских инженеров-механиков во Львове. Материалы. - Львов. 23-24 мая 2019 - С. 6-8.

https://www.researchgate.net/publication/333547180_Balickij_O_Kolesnikov_V_Elias_A_Gavriluk_M_Vpliv_tipu_metalevoi_matrici_na_mehanicnu_obrobluvanis_t_stalej_ta_splaviv_dla_energetiki_Materiali14-j_Mizn_simpozium_ukrainskih_inzeneriv-mehanikiv_u_Lvovi