

УДК 621.892.8

ВПЛИВ МОДИФІКУВАННЯ СТАЛІ 38ХНЗМФА НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВИЙ СТАН ТА ПРОДУКТИ РІЗАННЯ ЗА ЗМІНИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ УМОВ

О. І. БАЛИЦЬКИЙ^{1,2}, В. О. КОЛЕСНИКОВ^{1,3}, М. Р. ГАВРИЛЮК¹

¹ Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів;

² Західнопоморський технологічний університет у Щеціні, Польща;

³ Луганський національний університет ім. Тараса Шевченка, Старобільськ

Досліджено вплив модифікування на структурно-фазовий стан сталі 38ХНЗМФА та морфологію стружки, утвореної під час точіння заготовок за швидкості обертання 315 RPM в умовах насухо, з водою та змащувально-охолоджувальною рідиною (ЗОР). Виявлено, що за використання ЗОР розміри стружки зменшуються, їх форма стає компактною і згорнутою, а також у 10 разів знижується шорсткість обробленої поверхні порівняно із точінням насухо.

Ключові слова: змащувально-охолоджувальна рідина, механічна обробка, сталь, стружка, пошкодження, точіння.

Вступ. Продукти різання у вигляді стружки, утворені під час механічної обробки, достатньо інформативні для коригування технологічних процесів. Дослідження особливостей стружкоутворення акцентують увагу на руйнування сталей, результати яких можна використати для модифікації сталей з необхідними експлуатаційними властивостями [1–6].

Сталь 38ХНЗМФА (європейські аналоги 34NiCrMoV14-5, 35NiCrMoV12-5) застосовують в енергетичній галузі для виготовлення найбільш відповідальних деталей турбоагрегатів і компресорних машин (ротори, вали) [2]. Заготовку ротора спочатку обробляють механічно, а потім термічно. Внаслідок тривалої експлуатації та впливу воденьвмісних технологічних середовищ метал деградує, змінюється структурно-фазовий склад, що необхідно враховувати під час переточування ротора за планових та аварійних ремонтів на ТЕС та АЕС.

Мета роботи – дослідити вплив модифікування на структурно-фазовий стан сталі 38ХНЗМФА та морфологію продуктів різання за зміни умов змащування під час точіння.

Матеріали та методика експерименту. Дослідили сталь 38ХНЗМФА у стані постачання (без термічної обробки) із твердістю 35 HRC [1]. Стружку отримували, відрізаючи на токарно-гвинторізному верстаті від заготовки циліндри Ø 28 mm, товщиною 4 mm. Різець оснащений твердосплавною пластиною ВК-6. Для створення рівних умов точіння різець заточували та виставляли однаковий кут між ним та заготовкою. Експериментували під час точіння насухо, з водою та змащувально-охолоджувальною рідиною (ЗОР), яка містить соняшникову олію, з обертами 315 RPM [4]. Параметри мікроструктури сталі визначали на мікроскопі ЛОМО ЕС МЕТАМ РВ 21. Для отримання мікрошліфів використали травлення: 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.

Кількісно оцінювали фазовий склад мікроструктури сплавів, а також розміри стружки та пошкоджень на поверхнях різання за допомогою комп'ютерної обробки зображень мікроструктури (програмний комплекс TOUP VIEW 3.7), що точніше порівняно з традиційними методами. Шорсткість R_z отриманої поверхні вимірювали на профілографі-профілометрі моделі 201 і оцінювали за висотою мікроповерхонь, згідно з ДСТУ 2413-94 та ГОСТ 2789-73. R_z визначали відповідно до нормативної базової довжини. Статичну тріщиностійкість K_{IC} сталей визначали на прямокутних компактних зразках за позacentрового розтягу з попередньо вирощеними втомними тріщинами [3].

Результати та їх обговорення. Використали зразки з різним вмістом легувальних елементів (W, V, Cr) (табл. 1), що дало змогу дослідити їх вплив на структурно-фазовий склад, а саме зміну кількості перліту та фериту (табл. 2).

Таблиця 1 Хімічний склад досліджуваних сталей

Сплав	Вміст елементів, mass%								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	V	W
Базовий склад*	0,33... 0,4	0,17... 0,37	0,25... 0,5	1,2... 1,5	3... 3,5	0,35... 0,45	< 0,03	0,1... 0,18	0,2
Сплав 1	0,29	0,15	0,26	1,06	2,83	0,03	0,05	0,05	0,25
Сплав 2	0,34	0,22	0,35	1,27	3,27	0,05	0,06	0,13	0,34
Сплав 3	0,35	0,31	0,44	1,42	3,36	0,07	0,08	0,15	0,55
Сплав 4	0,41	0,42	0,55	1,54	3,53	0,09	0,09	0,21	0,84

* Кількість Cu 0,3 та S і P до 0,025 mass%, згідно з ГОСТ 4543-2016 [2].

Таблиця 2. Властивості досліджуваних сталей

Площа, %			Твердість, HRC	Мікротвердість, GPa			Середні розміри зерен (колоній), μm		R_z , μm			K_{IC} , $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$
ферит	перліт	карбід, нітрід, інтерметалід		ферит	перліт	карбіди*	ферит	перліт	насухо	з водою	зі ЗОР	
52,2	46,2	1,6	35	2,2	2,9	8,9	51	64	53,29	7,39	5,14	104
50,1	48,1	1,8	37	2,4	3,1	9,2	42	52	51,45	6,27	4,81	108
42,6	55,3	2,1	38	2,7	3,5	9,6	32	36	46,05	5,32	4,43	114
38,8	58,8	2,4	40	2,9	3,8	10,5	28	22	48,24	5,45	4,58	110

* Мікротвердість для карбідів типу $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$.

Коефіцієнти кореляції між параметрами мікроструктури та властивостями знаходяться в межах $r = 0,75...0,99$. Досліджувана сталь має дрібнозернисту феритно-перлітну мікроструктуру (рис. 1). Що менший розмір зерна, то вища в'язкість руйнування сталі. Але з підвищенням кількості карбідів, нітрідів та інтерметалідів (які містять W, V, Mo), значення K_{IC} зменшилось (сплав 4 порівняно зі сплавом 3). Важливим чинником забезпечення тріщиностійкості сталі на

високому рівні є обмежений вміст вуглецю. Тому збільшувати його вміст понад 0,35 mass% у роторних сталях типу ХНЗМФА нераціонально.

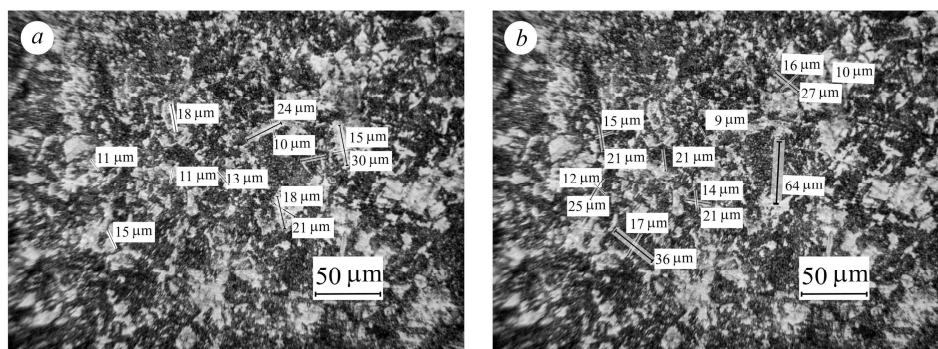


Рис. 1. Мікροструктура досліджуваної сталі (вказані розміри структурних складників): феритна (світла) (а) та перлітна (темна) (b) фази.

Fig. 1. Microstructure of the investigated steel (specified sizes of structural components): ferrite (light) (a) and perlite (dark) (b) phases.

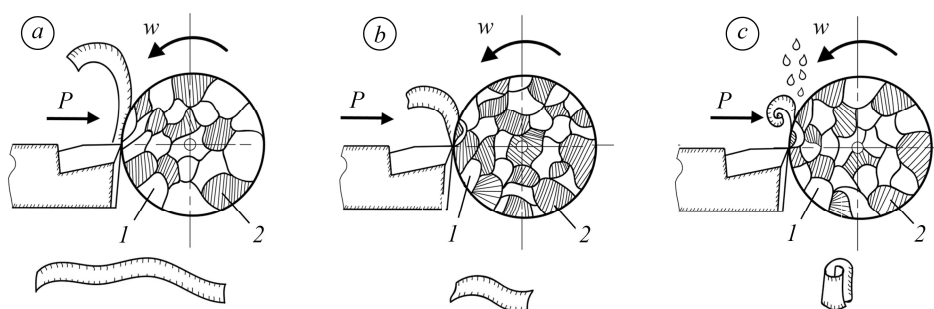


Рис. 2. Спрощена схема утворення продуктів різання феритно-перлітних сталей та види стружок: а, b – різання насухо; с – різання з водою та ЗОР. w – кутова швидкість; P – зусилля різця; 1 – ферит, 2 – перліт.

Fig. 2. Simplified scheme of cutting products of ferrite-perlite steels and types of chips: a, b – dry cutting; c – cutting with water and lubricating and cooling liquid (LCL); w – angular velocity; P – cutter force; 1 – ferrite, 2 – perlite.

На основі отриманих результатів запропоновано спрощену схему утворення продуктів різання феритно-перлітних сталей (рис. 2). Під час точіння сталі, в якій переважає феритна структура, отримуємо стружку у вигляді стрічки (рис. 2a). Між вершиною різця та оброблюваною сталлю з'являються мікротріщини, які поширюються в напрямку вектора швидкості і переходять у макротріщини. Магістральна тріщина внаслідок особливостей мікροструктури може просуватись, але відлому стружки не спостерігали. Можна стверджувати, що з підвищенням швидкості різання з 100 до 315 RPM стружка видовжується, а збільшення до 500 RPM призводить до її заламування. Перехід до сплавів, де переважає перлітна матриця, спричиняє появу коротшої стружки (рис. 2b), що обумовлено зміцненням металевої матриці, подрібненням зерен та підвищенням мікротвердості карбідів (табл. 2). Кількість стружок надлому збільшується, тобто макротріщина не розвивається так інтенсивно, як для феритно-перлітних сплавів. Макротріщини-

на утворюється попереду різця і внаслідок підвищеної крихкості сплаву спостерігаємо появу дрібніших стружок. Під час застосування води та ЗОР відбуваються фізико-хімічні процеси руйнування, які впливають на морфологію стружки (рис. 2с). Вона стає компактнішою та набуває округлої форми. Оскільки ферит належить до пластичної фази, а перліт до крихкої, то коригування структурно-фазового складу впливає на площу крихких або в'язких руйнувань.

Стружка, отримана за різних технологічних умов, наведена на рис. 3. Під час різання насухо (рис. 3а) отримують великі стрічкоподібні стружки довжиною до 250 mm (1–3). Такий вид стружки належить до зливної. Спостерігали стружки і у вигляді спіралевидних кілець \varnothing 20...25 mm (4, 5 на рис. 3а), а також півкільцеві (6) та закручені фрагменти (7). В експериментах за використання води та ЗОР стружки з такою формою, довжиною та розмірами відсутні (рис. 3б, с). Таким чином, застосування води або ЗОР під час точіння сприяє їх подрібненню та зміні морфології.

За використання води з'являються стрічкоподібні деформовані стружки, які мають розірвані краї (1, рис. 3б), а застосування ЗОР сприяє їх подрібненню та перетворенню в компактную форму (1, рис. 3с). Є такі, які мають плоску прямокутну форму (2 на рис. 3б) з розмірами 10...15 mm і є проміжними між великими стружками (1–3 на рис. 3а) за різання насухо і зі ЗОР. Є стружки, які згорнулися у компактні спіралі (3, 4 рис. 3б), а також велика кількість дрібних (5 на рис. 3б, рис. 4), які належать до стружок надлому та елементних. Стружки є напівзакриті та напівзгорнуті (6 на рис. 3б).

Під час точіння зі ЗОР (рис. 3с) у великій кількості утворюються стружки компактно згорнутої (1) та напівзгорнутої (2) форм \varnothing 1 mm, а також середні з гладкою зовнішньою поверхнею \varnothing 1...2 mm (3) та невелика кількість стружок діаметром від 5...10 mm (4).

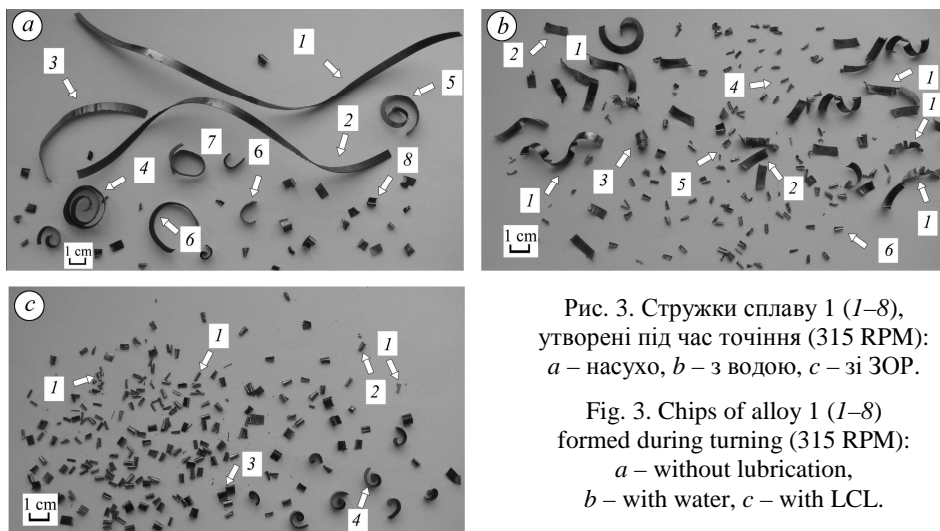


Рис. 3. Стружки сплаву 1 (1–8), утворені під час точіння (315 RPM): а – насухо, б – з водою, с – зі ЗОР.

Fig. 3. Chips of alloy 1 (1–8) formed during turning (315 RPM): a – without lubrication, b – with water, c – with LCL.

На рис. 4 зображено поверхні після точіння (позначено розміри пошкоджень), їхня шорсткість наведена в табл. 2. Візуально якість поверхні поліпшується від 0,62...0,28 mm після точіння насухо до 0,32...0,19 mm зі ЗОР. На поверхні (рис. 4б) присутні сліди корозійних пошкоджень розміром 0,12...0,78 mm.

На механічну обробку впливає зернистість сталі [3, 5, 6]. Більший розмір зерен (сплав 1, 2; табл. 1, 2) сприяє ліпшій механічній обробці, але продукти різання утворюються більшого розміру (до 350 mm) і шорсткість поверхні зростає.

Зменшення розміру зерен, збільшення карбідної фази сприяє подрібненню металевої стружки до 200 мкм (сплав 3, 4; табл. 1, 2).

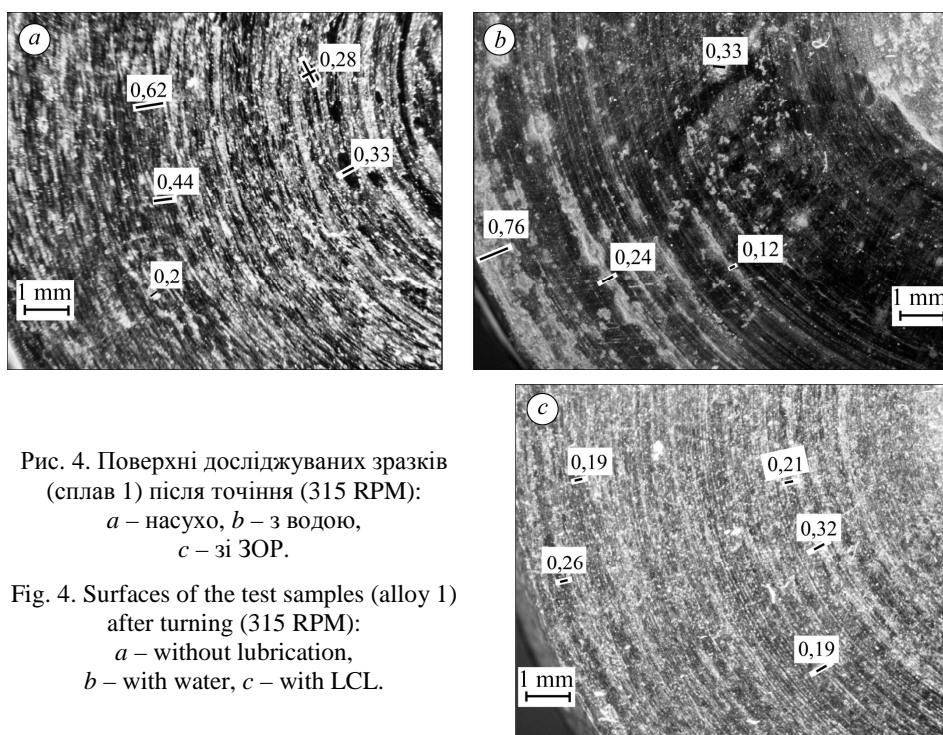


Рис. 4. Поверхні досліджуваних зразків (сплав 1) після точіння (315 RPM):
a – насухо, *b* – з водою,
c – зі ЗОР.

Fig. 4. Surfaces of the test samples (alloy 1) after turning (315 RPM):
a – without lubrication,
b – with water, *c* – with LCL.

ВИСНОВКИ

Встановлені закономірності формування стружки залежно від кількісної зміни структурних складників для додатково легованої сталі 38ХН3МФА. Зростання кількості легувальних елементів W, V, Cr сприяло подрібненню зерен та збільшенню кількості перлітної складової. При цьому зростають мікротвердість твердого розчину та кількість карбідів і нітридів, що сприяє зменшенню розміру стружки та шорсткості поверхні. Встановлено, що в результаті точіння сталі 38ХН3МФА насухо за обертання 315 RPM утворюється зливна стружка довжиною до 350 мм. Застосування води як охолоджувальної рідини під час точіння призводить до появи на поверхні стружки корозійних пошкоджень, тріщин, дрібних та великих деформованих ділянок, зникнення кольорів мінливості. Точіння із використанням ЗОР сприяє зменшенню розмірів стружки із перетворенням її у компактні згорнуті форми без корозійних пошкоджень.

РЕЗЮМЕ. Исследовано влияние модифицирования на структурно-фазовое состояние стали 38ХН3МФА и морфологию стружки, образовавшейся во время точения заготовок при скорости вращения 315 RPM, в условиях насухо, с водой и смазочно-охлаждающей жидкостью (СОЖ). Выявлено, что при использовании СОЖ размеры стружки уменьшаются, их форма становится компактной и свернутой, а также в 10 раз снижается шероховатость обработанной поверхности по сравнению с точением насухо.

Ключевые слова: *смазывающе-охлаждающая жидкость, механическая обработка, сталь, стружка, повреждение, точение.*

SUMMARY. The influence of modification on the 38ХН3МФА steel structural-phase state and morphology of the chips formed during turning of the billet at a rotation speed of 315 RPM in dry conditions, with water and lubricating and cooling liquid (LCL) is studied. It is found that

when using LCL the sizes of chip decrease and their shape is compact and folded-type and also the surface roughness of the treated surface is 10 times lower compared with dry turning.

Keywords: *lubricating and cooling liquid, mechanical treatment, steel, chip, damage, turning.*

1. *Балицький О. І., Колесніков В. О., Гаврилюк М. Р.* Вплив змащувально-охолоджувальної рідини на формування продуктів різання сталі 38ХН3МФА // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2018. – **54**, № 5. – С. 103–107.
(*Balyts'kyi O. I., Kolesnikov V. O., and Havrylyuk M. R.* Influence of lubricating liquid on the formation of the products of cutting of 38KhN3MFA steel // Materials Science. – 2019. – **54**, № 5. – P. 722–727.)
2. *Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довідн. посібн. / Під заг. ред. В. В. Панасюка. Т. 8: Міцність матеріалів і довговічність елементів конструкцій атомних електростанцій / О. І. Балицький, О. В. Махненко, О. О. Балицький, В. А. Грабовський, Д. М. Завербний, Б. Т. Тимофєєв.* – К.: ВД “Академперіодика”, 2005. – 544 с.
3. *Rajput R. K.* A Textbook of Manufacturing Technology (Manufacturing Processes). – New Delhi: Laxmi Publications, 2007. – 899 p.
4. *Патент № 106988.* Концентрат змащувально-охолоджуючої рідини для механічної обробки металів / О. І. Балицький, М. Р. Гаврилюк, Р. М. Дев’яткін, В. О. Колесніков, І. Р. Федусів. – Опубл. 10.05.2016; Бюл. № 9.
5. *Recycling of contaminated metallic chip based on eco-efficiency and eco-effectiveness approaches / Luísa Simon, Carlos A. M. Moraes, Regina C. E. Modolo, Monica Vargas, Daiace Calheiro, Feliciane A. Brehm // J. of Cleaner Production.* – 2017. – № 153. – P. 417–424.
6. *Recycling of ferrous metal shavings / L. E. Rovin, T. M. Zayac, O. M. Valickaya // Casting and metallurgy.* – 2017. – **89**, № 4. – P. 94–101.

Одержано 28.08.2018