

УДК 621.892.8

ВПЛИВ ЗМАЩУВАЛЬНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНОЇ РІДИНИ НА ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТІВ РІЗАННЯ СТАЛІ 38ХНЗМФА

О. І. БАЛИЦЬКИЙ¹, В. О. КОЛЕСНИКОВ^{1,2}, М. Р. ГАВРИЛЮК¹

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

² Луганський національний університет ім. Тараса Шевченка, Старобільськ

Досліджено морфологію стружки, утвореної після точіння заготовки зі сталі 38ХНЗМФА на токарному верстаті за швидкості обертання 200 грт, в умовах без мащення, за додавання води і змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР) на основі соняшникової олії. Встановлено, що додавання води і ЗОР під час різання сприяє зменшенню розмірів стружки, перетворюючи її форму з плоскої у бочкоподібну. Застосування ЗОР призводить до зниження шорсткості поверхні у 9 разів порівняно з точінням насухо.

Ключові слова: змащувально-охолоджувальна рідина, механічна обробка, зношування.

Впровадження в сучасні технології різання нових воденьвмісних середовищ (в т.ч. змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР)) сприяє вдосконаленню механічної обробки високоміцних сталей. Серед сучасних вимог до виробництва (в т.ч. в тепловій та ядерній енергетиці) – переорієнтування технологічних процесів відповідно до екологічних постанов Європарламенту [1]. Одним з таких шляхів є використання ЗОР на основі соняшникової олії. Крім екологічних переваг, ЗОР мають протикорозійні властивості. Попередніми дослідженнями [2] встановлено, що додавання соняшникової олії під час виготовлення ЗОР ефективно заміняє нафтові оливи. Нові ЗОР потребують досліджень для з'ясування можливостей поліпшення якості оброблюваної поверхні. Серед найінформативніших ознак для аналізу руйнування матеріалу в умовах сухого тертя є продукти зношування [3–5]. Тому ретельне вивчення морфології продуктів різання є інформативним діагностичним підходом для інтерпретації отриманих результатів стосовно впливу умов обробки на характер руйнування матеріалів.

Різання (стружкоутворення) – складний фізичний процес, який супроводжується великим тепловиділенням, деформацією металу, зносом різального інструменту і наростоутворенням на різці. Знаючи закономірності різання, можна раціонально управляти цим процесом і виготовляти деталі якісно, продуктивно і економічно.

Перетворення зрізаного шару в стружку є одним із різновидів пластичного деформування матеріалу. Стружки мають різний вигляд і форму, які залежать від хімічного складу, структурного стану металу, режимів різання тощо. Основні чинники впливу на форму стружки – глибина різання та подача ЗОР. Серед варіантів технологічних процесів – додавання мінімально необхідної кількості ЗОР [6, 7], використання води та насухо [8].

Матеріали та методика експерименту. Визначали ефективність зразків ЗОР для механічної обробки (точіння) сталі 38ХНЗМФА. Хімічний склад досліджуваних зразків та стружки визначали аналізатором елементного складу “Expert 02L”.

На токарно-гвинторізному верстаті марки МК 6141 різцем від заготовки $\varnothing 28$ mm відрізували круги. Різець оснащений твердосплавною пластиною ВК-6. Його заточували, щоб мати однакові умови різання. В зону контакту заготовки та різця подавали ЗОР. Оцінювали характер формування стружки. Шорсткість (R_z) отриманої поверхні вимірювали на профілографі-профілометрі моделі 201 і визначали згідно з ДСТУ 2413-94 та ГОСТ 2789-73 за висотою мікроповерхонь, а саме, як висоту нерівностей профілю за десятьма точками (сума середніх абсолютних значень п'яти найбільших виступів і п'яти найбільших впадин профілю в межах базової довжини [9]).

Послідовно виконали три види експериментів під час точіння: насухо, з водою та ЗОР (виготовленої з додаванням соняшникової олії) за 200 rpm.

Результати та їх обговорення. Згідно з класифікацією Н. А. Тіме, під час токарної обробки конструкційних сталей утворюються такі види стружки: елементна (дроблена), ступінчаста (стружка зрізу або сколювання) та зливна (рис. 1) [10]. У західних літературних джерелах зустрічаємо таку класифікацію: неперервна, переривана, елементна дроблена стружки [11].

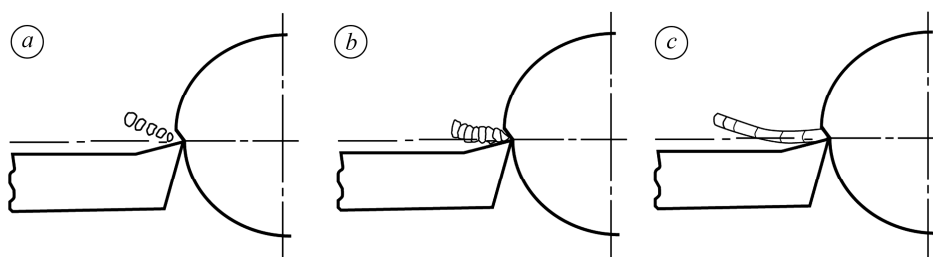


Рис. 1. Елементна (а), ступінчаста (b) та зливна (c) стружки.

Fig. 1. Cell (a), step-wise (b) and drain (c) chips.

Продукти різання залежно від обробки поділяємо на типи: під час різання насухо (I тип), з водою (II), зі ЗОР (III). На рис. 2 подано I тип, де цифрами позначені стружки різної морфології. Ширина більшості стружок 4 mm.

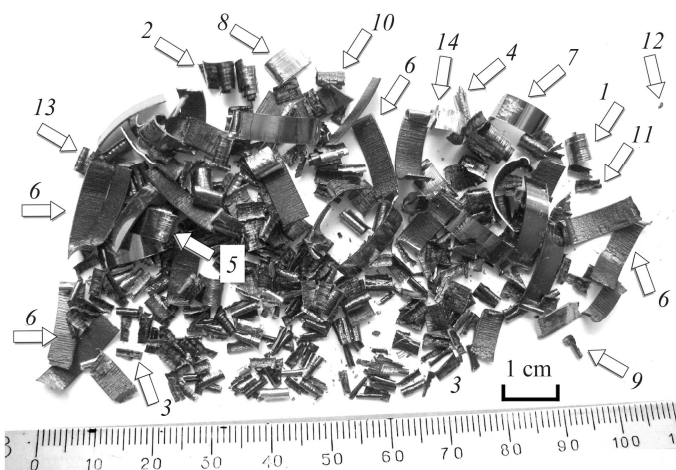


Рис. 2. Стружки, утворені під час різання насухо (200 rpm).

Fig. 2. Chips formed during cutting without lubrication (200 rpm).

Стружки типу I за виглядом такі: повністю закручені “бочкоподібної” форми (1), з неповністю закрученою частиною (2), плоскої форми з порізаними кінцями (3), “бочкоподібної” форми, де частинка сформована у щільне спіральне утворен-

ня, витягнуте вздовж осі (4), крупні “бочкоподібні” частинки $\varnothing 4...6$ mm (5). Переважають стружки, сформовані у вигляді прямокутників з лінійними розмірами в межах 10...15 mm (6). Також характерним для більшості стружок є те, що одна сторона (звернена до різця) гладка, з металевим блиском (7), (8), а інша має ступінчастий мікрорельєф. Частинки з формою видовженого прямокутника зі ступінчастим мікрорельєфом мали довжину 8...10 mm та ширину 4 mm. Серед вказаного типу стружок зустрічаються й такі, що мають форму прямокутника завдовжки 12 mm, потім подрібнюються до 2 mm (з'єднання окремих частинок у деяких місцях спостерігали довжиною від 1 mm до 12...14 mm). Виявили стружки з певним радіусом (7) та плоскі (8) з іншою геометричною формою, наприклад у вигляді “молотка” (9), “бочкоподібної” форми з деформованими зовнішніми поверхнями (10); у вигляді напівзігнутих прямокутників з рваними краями (11); дрібні напівкруглі (12) з розірваними фрагментами завглибшки 1...2 mm; з клиноподібними тріщинами, які розпорошують стружку майже на всю ширину (13); світлі (без ознак кольорів мінливості), що мають значну рельєфну деформацію (14). На поверхні більшості стружок зафіксовано кольори мінливості, що мали синій та жовтий кольори, а також градієнтні перехідні відтінки.

Для стружки, утвореної під час різання з водою (тип II), характерні такі ознаки: “бочкоподібна” форма, сформована у щільне спіральне утворення $\varnothing 3...4$ mm, а розміри вздовж осі можуть становити 10...20 mm або 20...30 mm. Виявили також компактні “бочкоподібні” частинки з деформованою поверхнею вздовж всієї площини (20...25 mm) та діаметром ~ 5 mm, а також з плоско-деформованою розгорнутою поверхнею завдовжки 5...7 mm, загорнуті частинки з розгорнутим виступом, плоскої форми з рваними краями. Клинь, який розриває матеріал всередині частинки спостерігали на відстані 1...2 mm. Помітили прямокутні стружки: з рваними краями, деформовані з різних сторін, округлої форми, дрібні особливої геометричної форми, прямокутні шириною 1...2 mm, гострі, рвані довжиною < 3 mm та шириною < 1 mm. Після експерименту через 5 h на поверхні стружки з'явилась іржа.

Для стружки, утвореної під час різання зі ЗОР (тип III), характерні такі ознаки: повністю та частково закручені “бочкоподібної” форми, розкриті або не повністю закручені “бочкоподібної” форми, прямокутної форми з гладкою поверхнею шириною 1...2 mm, “бочкоподібної” форми зі суттєво деформованою поверхнею, деформовані, що не набули повністю “бочкоподібної” форми, мають “рваний” вигляд, дрібні розміром < 1 mm, з особливою геометричною формою.

Частинки зі загостреними краями становлять небезпеку для персоналу. Тому завдяки застосуванню ЗОР можна уникнути значної кількості такої стружки і формувати її округлішою. Середній діаметр для спіралевидних частинок становить 3 (тип II) та 2 mm (тип III).

Перехід від сухого різання до умов, коли додавали воду та ЗОР (рис. 3), призводить до зменшення розмірів стружки, а також відсутності прямокутників великих розмірів. За додавання води збільшилась кількість дрібних частинок різання, а також деформованих. Показано [8], що під час охолодження методом MQCL (minimum amount cooling lubrication) за екстремального тиску EP (extreme pressure) / AW (anti wear) коефіцієнт тертя на межі поверхні зменшує товщину шару, а кут ковзання збільшується порівняно з сухою обробкою. Зменшення коефіцієнта тертя в методі MQCL+EP/AW пояснюється наночастинками фосфату, доданими до води. За охолодження з допомогою методу MQCL стружки мають вигляд коротких спіралей, що полегшує їх видалення зі зони різання.

Точіння зі ЗОР сприяє подрібненню та формуванню компактних частинок “бочкоподібної” форми. Стружка, отримана зі ЗОР, має однакові розміри порівняно з тією, що утворюється після обробки різанням з водою. Крім того, на про-

дуктах різання, сформованих під дією води, через кілька годин з'являються сліди корозії, а на стружках, отриманих зі ЗОР, таких слідів не виявлено. Навпаки їх зовнішній вигляд вирізняється металевим блиском з оливковим відтінком.

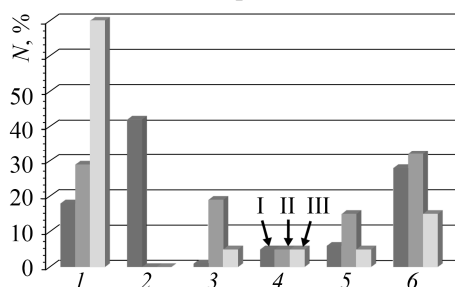


Рис. 3. Розподіл частинок за різними видами: 1 – дрібні “бочкоподібної” форми; 2 – прямокутні великі; 3 – спіралеподібні; 4 – дрібні прямокутні; 5 – деформовані; 6 – дрібні специфічної форми. Умови різання: I – без змащування; II – з водою; III – зі ЗОР.

Fig. 3. Distribution of particles by different types: 1 – small “barrel-shaped” forms; 2 – rectangular big; 3 – spiral-shaped; 4 – rectangular small; 5 – deformed; 6 – small of specific types. Cutting conditions: I – without lubrication; II – with water; III – with liquid-cooling lubricants.

Для певної кількості (50%) продуктів різання (насухо) спостерігали кольори мінливості, які мали темно-фіолетовий та жовтий металевий блиск. Але в експериментах зі застосуванням води та ЗОР кольори мінливості не спостерігали. Відомо, що для низьколегованої сталі залежно від кольорів мінливості можна приблизно оцінити температуру поверхні стружки. Цілком можливо, що кількість легувальних елементів у складі сплаву впливають на інтенсивність кольорів окислів.

Аналіз результатів показує (див. таблицю), що хімічний склад гладких сторін стружки більше збігається з основним матеріалом, ніж шорстких. Особливо це стосується таких елементів, як Cr, Mn, Cu та W. ЗОР за пластичного деформування впливає на поверхню шляхом фізичної або хімічної адсорбції.

Хімічний склад досліджуваної стружки за різних видів різання, mass% (200 грп)

Елемент	Сторона стружки за сухого різання		Сторона стружки за різання з водою		Сторона стружки за різання зі ЗОР	
	гладка	шорстка	гладка	шорстка	гладка	шорстка
Si	0,23	0,18	0,21	0,40	0,17	0,16
Ti	0,08	0,07	0,071	–	0,07	0,08
Cr	1,06	1,05	1,02	1,07	1,02	1,06
Mn	0,42	0,39	0,42	0,34	0,36	0,45
Fe	94,29	94,80	94,48	94,11	94,38	94,36
Ni	2,93	2,54	2,83	3,07	3,01	2,91
Cu	0,19	0,19	0,19	0,21	0,19	0,20
Mo	0,04	0,06	0,03	0,05	0,04	0,03
W	0,72	0,68	0,71	0,72	0,71	0,72

Результати шорсткості поверхні R_z зразків зі сталі 38ХНЗМФА, встановлені за допомогою профілографа, такі: на повітрі – 37,12, у воді – 5,22 та ЗОР на основі соняшникової олії – 4,14. Вони показують, що поверхня поліпшується за використання ЗОР майже у 9 разів порівняно з точінням насухо.

ВИСНОВКИ

Під час оброблення на токарному верстаті роторної сталі 38ХНЗМФА встановлено, що застосування води як охолоджувальної рідини призводить до зміни морфології стружки, зникають кольори мінливості. Різання з додаванням води і

ЗОР сприяє зменшенню розмірів стружки, перетворюючи її форму з плоскої у бочкоподібну. Це дозволяє уникати появи великої кількості стружки з гострою поверхнею, яка небезпечна для персоналу. Застосування ЗОР призводить до “консервального” ефекту, тобто частинок без корозійних пошкоджень.

РЕЗЮМЕ. Исследовано морфологию стружки, образовавшуюся при точении заготовки из стали 38ХНЗМФА на токарном станке при скорости вращения 200 rpm, в условиях без смазки, с добавлением воды и смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), содержащей подсолнечное масло. Установлено, что добавление воды и СОЖ при резке способствует уменьшению размеров стружки с преобразованием её из плоской формы в бочкообразную. Представлены результаты химического анализа стружки. Применение СОЖ приводит к снижению шероховатости поверхности почти в 9 раз в сравнении с точением без смазки.

SUMMARY. The morphology of the chips formed when rotating the workpiece from the 38ХНЗМФА steel at a rotational speed of 200 rpm, under conditions without lubrication, adding water and a lubricating cooling liquid (LCL) containing sunflower oil, was studied. It was found that cutting with the addition of water and a LCL helps to reduce the size of the chip, transforming it from flat fragments to barrel shaped chips. The results of chemical analysis of chips are presented. The use of the lubricating coolant results in a 9-time decrease in the surface roughness.

1. *Directive 2014/94/eu of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the deployment of alternative fuels infrastructure 2014/94/UE (EOG) L 307/1.* – Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/search.html?qid=1536662083562&text=Directive%202014/94/eu%20of%20the%20European%20Parliament%20and%20of%20the%20Council&scope=EURLEX&type=quick&lang=en>.
2. *Особливості руйнування наводнених високоазотних марганцевих сталей в умовах тертя кочення / О. І. Балицький, В. О. Колесніков, Я. Еліаш, М. Р. Гаврилюк // Фіз.-хім. механіка матеріалів.* – 2014. – **50**, № 4. – С. 110–116.
(Balyts'kyi O. I., Kolesnikov V. O., Eliasz 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).
3. *Балицький О. І., Колесніков В. О. Дослідження продуктів зношування аустенітних марганцевих чавунів // Фіз.-хім. механіка матеріалів.* – 2004. – **40**, № 1. – С. 65–69.
(Balytskyi O. I., Kolesnikov V. O. Investigation of wear products of austenitic manganese cast-iron // Materials Science. – 2004. – **40**, № 1. – P. 78–82.)
4. *Балицький О. І., Колесніков В. О. Дослідження продуктів зношування високоазотних марганцевих сталей // Фіз.-хім. механіка матеріалів.* – 2009. – **45**, № 4. – С. 93–98.
(Balyts'kyi O. I., Kolesnikov V. O. Investigation of wear products of high-nitrogen manganese steels // Materials Science. – 2009. – **45**, № 4. – P. 576–581).
5. *Патент 108524 Україна. Спосіб визначення форми поверхні частинок після сухого та водневого зношування системою комп'ютерного зору / О. О. Балицький, В. О. Колесніков, М. Р. Гаврилюк, О. О. Погорелов, Е. Б. Колеснікова.* – Опубл. 25.07.2016; Бюл. № 14. – 11 с.
6. *Chip formation, zone analysis during the turning of austenitic stainless steel 316L under MQCL cooling condition / R. Maruda, G. Krolczyk, P. Nieslony, and S. Legutko // Proc. Eng.* – 2016. – № 149. – P. 297–304.
7. *Influence of cooling conditions on the machining process under MQCL and MQL conditions / R. W. Maruda, S. Legutko, G. M. Krolczyk, and P. Raos // Tehnicki Vjesnik.* – 2015. – 22 (4). – P. 965–970.
8. *An influence of active additives on the formation of selected indicators of the condition of the X10CrNi18-8 stainless steel surface layer in MQCL conditions / R. W. Maruda, S. Legutko, G. M. Krolczyk, S. Hloch, and M. Michalski // Int. J. Surf. Sci. Eng.* – 2015. – № 9. – С. 452–465.
9. *ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.* – Введ. 01.01.1975.
10. *Испытания металлов / Под ред. К. Ницше.* – М.: Металлургия, 1967. – 452 с.
11. *Rajput R. K. A Textbook of Manufacturing Technology (Manufacturing Processes).* – Boston: New Delhi, 2007. – 899 p.

Одержано 23.02.2018