

**Тришин П.Р.**

доктор філософії, доцент

Козлова О.Б.

к.т.н., доцент

**Національний
університет «Запорізька
політехніка»****Внуков Ю.М.**

д.т.н., професор

**Каліфорнія, незалежний
науковець****Левченко А.В.**

аспірант

**Національний
університет «Запорізька
політехніка»****Tryshyn P.**

Ph.D., Associate Professor

Kozlova O.

Ph.D., Associate Professor

**National University
“Zaporizhzhia Polytechnic”****Vnukov Y.**

D.Sc., Professor

**Independent scientist,
California****Levchenko A.**

graduate student

**National University
“Zaporizhzhia Polytechnic”**

ВПЛИВ ТИПУ СТРУЖКОУТВОРЕННЯ НА
ЗБУДЖЕННЯ РЕГЕНЕРАТИВНИХ
АВТОКОЛИВАНЬ ПРИ ТОЧІННІ © 2026
by Тришин П.Р., Козлова О.Б., Внуков Ю.М.,
Левченко А.В. ліцензовано згідно з CC BY 4.0

УДК 621.941.08**DOI: 10.37128/2306-8744-2026-2-4**

ВПЛИВ ТИПУ СТРУЖКОУТВОРЕННЯ НА ЗБУДЖЕННЯ РЕГЕНЕРАТИВНИХ АВТОКОЛИВАНЬ ПРИ ТОЧІННІ

У роботі представлені результати експериментального дослідження впливу типу стружкоутворення на виникнення та розвиток регенеративних автоколивань при точінні. Розглядається взаємозв'язок між характером формування стружки та динамічною стійкістю технологічної системи у процесі різання. Експериментальні дослідження проводилися при обробці різних конструкційних матеріалів, що відрізняються механізмом пластичної деформації та характером утворення стружки.

Встановлено, що при обробці матеріалів, що формують зливну стружку, таких як сталь 45, мідь М2, алюмінієвий сплав Д16 і свинець С1, при певних діапазонах швидкостей різання виникають стійкі регенеративні автоколивання. Їх поява обумовлена відносно безперервним характером пластичної деформації матеріалу і стабільним формуванням шару, що зрізається. У цих умовах формується позитивний зворотний зв'язок між зміною товщини шару, що зрізається, і коливаннями елементів технологічної системи, що призводить до розвитку регенеративних автоколивань і зниження стійкості процесу різання.

У той же час під час обробки матеріалів, для яких характерне сегментне стружкоутворення, регенеративні автоколивання не спостерігалися. Періодичне формування сегментів стружки з певною частотою та адіабатичний характер зсуву цих сегментів можуть призводити до гасіння регенеративних автоколивань.

Отримані результати показують, що тип стружкоутворення є одним із суттєвих факторів, що впливають на динамічну стійкість процесу точіння. Зливне стружкоутворення сприяє виникненню та розвитку регенеративних автоколивань, тоді як сегментне стружкоутворення може повністю пригнічувати їх розвиток.

Ключові слова: вібрація, регенеративні автоколивання, процес стружкоутворення, різець-осцилятор, форма стружки, точіння.

Вступ. Вібрація при точінні є однією з основних проблем механічної обробки, оскільки вона призводить до погіршення якості обробленої поверхні, зниження точності обробки та прискореного зношування різального інструменту [1]. Найбільш небезпечним видом вібрації є автоколивання, що виникають унаслідок динамічної нестійкості технологічної системи.

Більшість досліджень пояснює виникнення автоколивань регенеративним ефектом, обумовленим зміною миттєвої товщини шару, що зрізається, і формуванням позитивного зворотного

зв'язку між процесом різання і коливаннями системи [2]. У той же час процес стружкоутворення може також істотно впливати на динаміку різання. Залежно від властивостей оброблюваного матеріалу та умов обробки процес стружкоутворення істотно відрізняється, можуть формуватися різні типи стружки: зливна, сегментована, суглобова та стружка надлому. Різні типи стружкоутворення суттєво відрізняються за механізмом пластичної деформації матеріалу, частотою формування елементів стружки та характером зміни сил різання. При утворенні



зливної стружки пластична деформація матеріалу відбувається безперервно. Сегментоване стружкоутворення супроводжується періодичним формуванням зсувних сегментів та виникненням високочастотних коливань сили різання.

Аналіз досліджень та публікацій.

Проблемі виникнення вібрації при точінні присвячено значну кількість досліджень, проте природа цих явищ досі залишається предметом дискусій. Одні з перших досліджень вібрації при різанні пов'язували її виникнення з періодичною утворенням та зривом наросту на ріжучій кромці інструменту [3]. Наріст на ріжучій кромці був детально досліджений Н. Ernst і М. Martellotti [4], а також І. С. Штейнбергом [5]. В їх роботах показано, що наріст періодично утворюється і зривається з ріжучої кромки, викликаючи коливання сил різання та відповідні вібрації технологічної системи. Слід зазначити, що дані дослідження проводилися за порівняно низьких швидкостей різання, що зумовлювалося відсутністю на той момент твердосплавного інструменту.

З використанням інструменту, оснащеного твердим металом, швидкість різання значно зросла. Однак вібрації при точінні не зникли, що вимагало пошуку інших механізмів їх виникнення. В даний час більшість дослідників пов'язують виникнення вібрації при точінні з регенеративним ефектом [6]. При регенеративних автоколиваннях товщина недеформованого шару залежить від товщини стружки зрізаної на попередньому обороті деталі. Таким чином, коливання інструменту і заготовки призводять до періодичної зміни товщини зрізаного шару, формуючи позитивний зворотній зв'язок, що сприяє розвитку автоколивань [7–9]. Внаслідок чого на вільній стороні стружки формується хвиля. У роботі [9] було встановлено, що хвилястість на поверхні різання не є причиною вібрації, а скоріше її наслідком. При цьому вібрації виникають в результаті резонансу частоти утворення стружки та власної частоти різця під час різання.

У ряді досліджень відзначається суттєвий вплив самого процесу стружкоутворення на збудження вібрації, особливо при сегментованому утворенні стружки. Сегментна стружка була вперше експериментально досліджена V. Piispanen [10] та P. Landberg [11]. Значний внесок в опис механізму сегментного стружкоутворення зробив R. Komanduri [12, 13]. Зокрема, у роботах [14–16] встановлено, що при певних швидкостях різання частота сегментного стружкоутворення може збігатися або наближатися до власних частот елементів технологічної системи (наприклад, шпинделя), що призводить до збудження інтенсивної вібрації. У роботі [17] для дослідження взаємозв'язку між вібрацією та процесом стружкоутворення використано моделювання методом кінцевих елементів. При цьому моделювання процесу формування стружки

було об'єднано з динамічним аналізом інструменту для визначення взаємодії між цими явищами.

У роботі [18] показано, що мікроструктура оброблюваного матеріалу також впливає на характер стружкоутворення та збудження вібрації. Встановлено, що дрібнозерниста мікроструктура сприяє більш рівномірному формуванню стружки, що призводить до менших коливань вектора сили різання та більш стабільної частоти сегментації. В результаті збудження власних частот різця відбувається у відносно вузькому діапазоні швидкостей різання. У той самий час матеріал з крупнозернистою структурою характеризується значним розкидом розмірів сегментів стружки, що зумовлює ширшому діапазону збудження вібрації.

У роботі [19] показано, що утворення смуг зсуву призводить до формування сегментованої стружки та викликає флуктуацію сили різання, які збуджують вібрації системи.

У роботі [20] запропоновано модель прогнозування амплітуди вимушеної вібрації, що виникають внаслідок сегментації стружки при точінні. Авторами показано, що сила різання може коливатися навколо середнього значення з частотою, що відповідає частоті сегментного стружкоутворення. У роботі [21] також зазначається, що процес стружкоутворення може бути джерелом збудження в системі верстат-інструмент-заготовка. Врахування даної взаємодії є доцільним при проектуванні технологічних процесів обробки для запобігання виникненню вібрації.

Таким чином, аналіз літератури показує, що тип стружкоутворення є важливим фактором, що визначає характер збудження вібрації при точінні. Незважаючи на значний обсяг досліджень, у яких регенеративні автоколивання розглядаються як основний механізм виникнення вібрації, вплив самого процесу стружкоутворення на їхнє збудження вивчено недостатньо.

Мета дослідження полягає у вивченні впливу типу стружкоутворення на збудження регенеративних автоколивань при точінні, а також у порівняльній оцінці ролі зливного та сегментного стружкоутворення у формуванні автоколивань технологічної системи.

Методика досліджень. Експерименти проводили в умовах безперервного ортогонального невільного точіння на токарному верстаті з ЧПК Zenitech WL 320 [22]. Для дослідження вібрації використовували різець-осцилятор з одним ступенем свободи в напрямку зміни товщини шару, що зрізається (вісь X) [23]. Власна частота коливань різця-осцилятора становила $f_{er}=500$ Гц. Установка різця-осцилятора в різцетримачі верстата здійснювалася за допомогою спеціального пристрою, в корпусі якого було встановлено індуктивний датчик переміщення Schneider Electric XS4-P12AB110 (рис. 1). Коливання ріжучої кромки в процесі точіння

реєструвалися даним датчиком і надходили до багатоканального аналого-цифрового перетворювача L-Card E140 і в цифровому вигляді передавалися на персональний комп'ютер. Обробку сигналів виконували у програмному забезпеченні PowerGraph 3.3. За отриманими осцилограмами визначали амплітуди коливань різальної кромки – A_x і статичне відхилення різця-осцилятора – B_x . Додатково виконували спектральний аналіз осцилограм шляхом швидкого перетворення Фур'є.



Рис. 1. Робоче місце для дослідження вібрації [24]

Заготовки мали циліндричну форму діаметром $d = 120$ мм і довжиною $L = 100$ мм, що забезпечувало високу жорсткість системи.

Для порівняльного дослідження впливу різних типів стружкоутворення на збудження вібрації при точінні у якості оброблюваних матеріалів використовували: сталь 45, алюмінієвий сплав Д16, мідь М2 і свинець С1 – матеріали, що формують зливну стружку; титановий сплав ВТ22 та нікелевий сплав ХН73МБТЮ – матеріали, для яких характерно сегментне стружкоутворення.

Точіння виконували за наступних режимів різання: швидкість різання $v = 50-300$ м/хв, подача $S = 0,2$ мм/об, глибина різання $t = 1$ мм, з охолодженням.

Матеріал різальної пластини – твердий сплав Т15К6 з наступними геометричними параметрами: $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\phi = 90^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $r = 0,15$ мм. Площадку зносу на задній поверхні різця підтримували в діапазоні $h_z = 0,1...0,2$ мм.

Результати та обговорення. У результаті досліджень при точінні матеріалів, що мають зливну стружку, були записані осцилограми коливання різальної кромки (рис. 2 - 5), по яких була виміряна амплітуда коливань – A_x і статичне відхилення різця-осцилятора – B_x (таблиця 1).

Таблиця 1

Результати дослідження параметрів регенеративних автоколивань

Сталь 45			Титановий сплав ВТ22		
v , м/хв	B_x , мм	A_x , мм	v , м/хв	A_x , мм	B_x , мм
50	0,283...0,306	0,026...0,030	15	0,013...0,018	0,23...0,33
100	0,216...0,24	0,036...0,043	25	0,009...0,016	0,2...0,3
150	0,193...0,216	0,048...0,058	50	0,008...0,016	0,17...0,23
200	0,19...0,223	0,040...0,052	75	0,015...0,018	0,2...0,24
250	0,18...0,2	0,035...0,053	100	0,010...0,015	0,18...0,23
300	0,166...0,2	0,033...0,050	125	0,008...0,013	0,19...0,22

При точінні сталі 45 різцем-осцилятором спостерігалися регенеративні автоколивання в діапазоні швидкостей різання $v = 100-250$ м/хв. При швидкостях нижче $v = 100$ м/хв та вище $v = 250$ м/хв коливання мали періодичний характер.

При точінні міді М2 регенеративні автоколивання спостерігалися при швидкостях різання вище $v = 200$ м/хв, тоді як при менших швидкостях коливання мали періодичний характер.

При точінні алюмінієвого сплаву Д16 регенеративні автоколивання були відсутні при

швидкостях різання до $v = 200$ м/хв, а при вищих швидкостях збуджувалися регенеративні автоколивання.

Для отримання автоколивань при точінні свинцю С1 внаслідок низьких значень сили різання жорсткість різця-осцилятора була знижена вдвічі за рахунок збільшення довжини його вильоту. При швидкостях різання вище $v = 100$ м/хв, точіння свинцю також супроводжувалося регенеративними автоколиваннями.

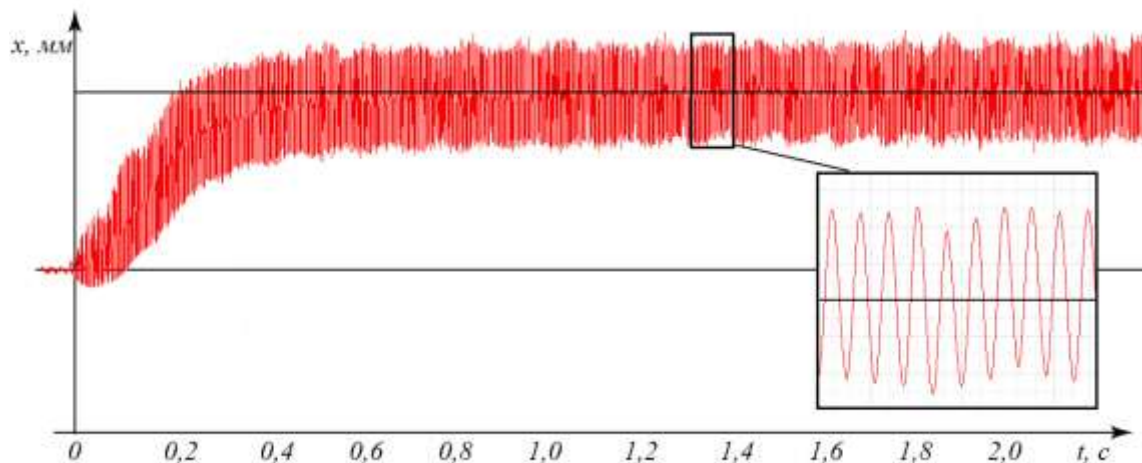


Рис. 2. Осцилограма точіння сталі 45 на швидкості $v = 100$ м/хв

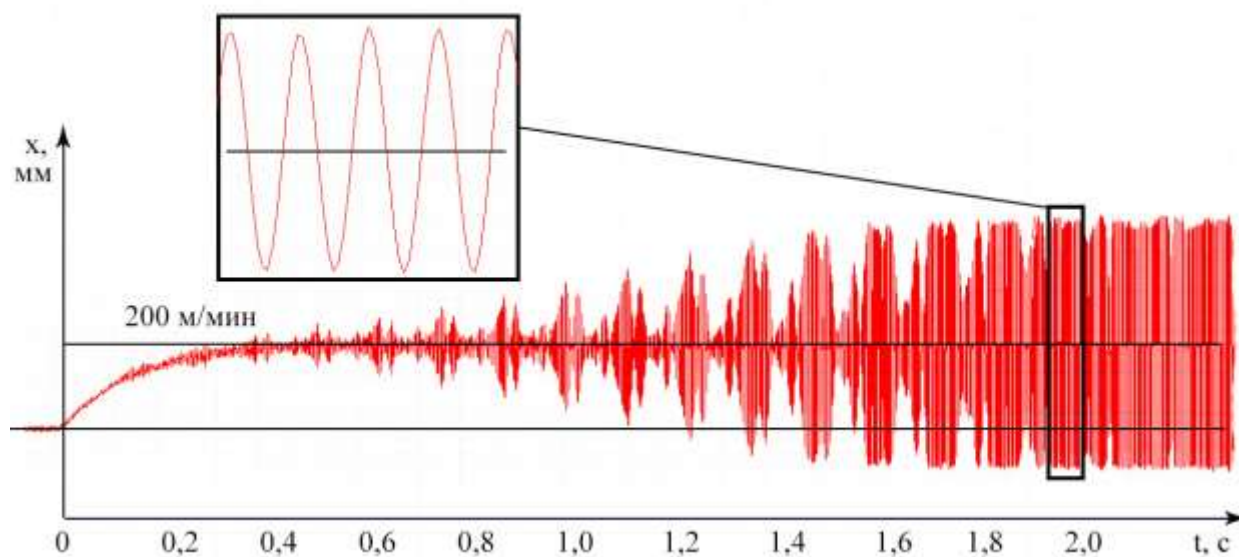


Рис. 3. Осцилограма точіння алюмінієвого сплаву Д16 на швидкості $v = 200$ м/хв.

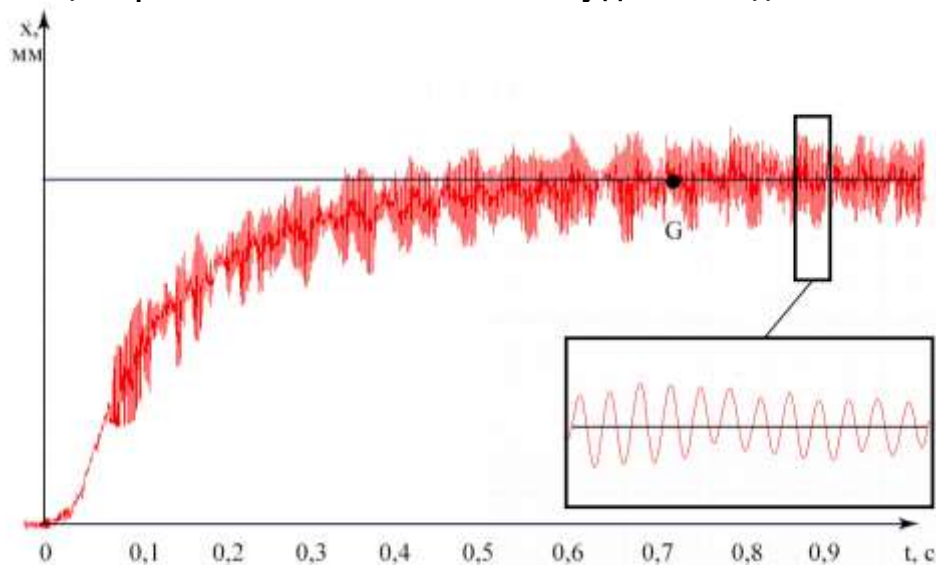


Рис. 4. Осцилограма точіння міді М2 на швидкості $v = 200$ м/хв

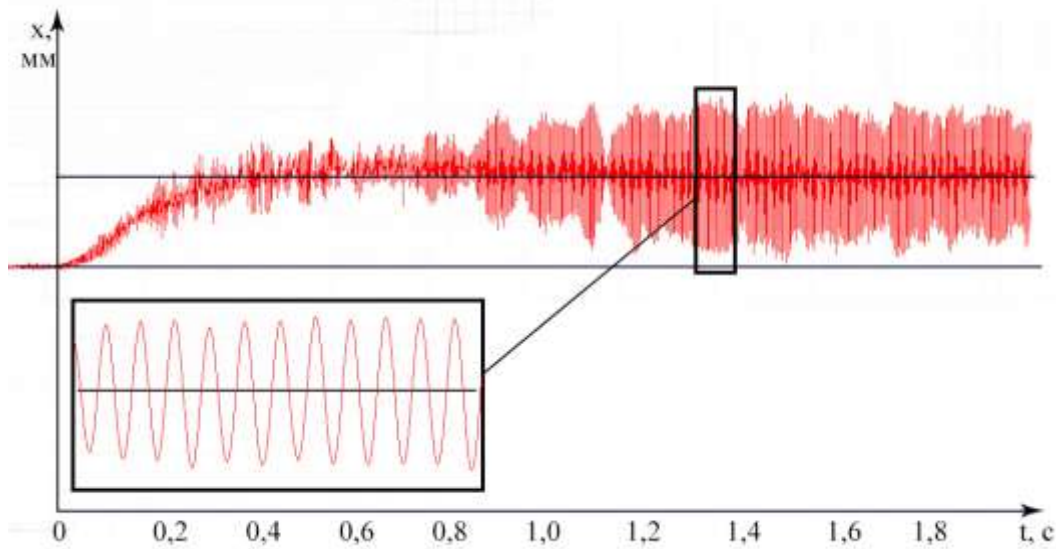


Рис. 5. Осцилограма точіння свинцю С1 на швидкості $v = 100$ м/хв

Стружка при точінні сталі 45, алюмінієвого сплаву Д16, міді М2 і свинцю С1 мала хвилю на вільній стороні, що пояснюється

наявністю регенеративних автоколивань (рис. 6). Хвиля на вільній стороні стружки була викликана коливаннями товщини різку.



Рис. 6. Стружка при точінні сталі 45(а), міді М2(б), свинцю С1(в), алюмінієвого сплаву Д16(г)

При точінні титанового сплаву ВТ22 та нікелевого сплаву ХН73МБТЮ в діапазоні швидкостей від 15 до 150 м/хв регенеративні автоколивання при точінні різцем-осцилятором були відсутні (рис. 7, 8), коливання мали

випадковий характер (таблиця 1). Стружка мала сегментну форму, хвилі від коливання товщини зрізу на вільній стороні стружки не було (рис. 9), оскільки регенеративні автоколивання були відсутні.

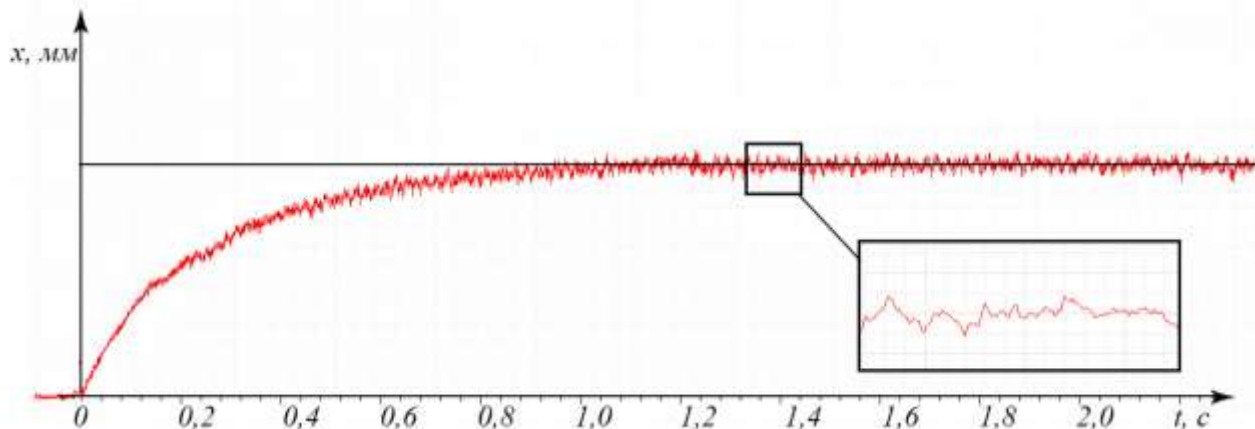


Рис. 7. Осцилограма точіння титанового сплаву ВТ22 на швидкості $v = 100$ м/хв

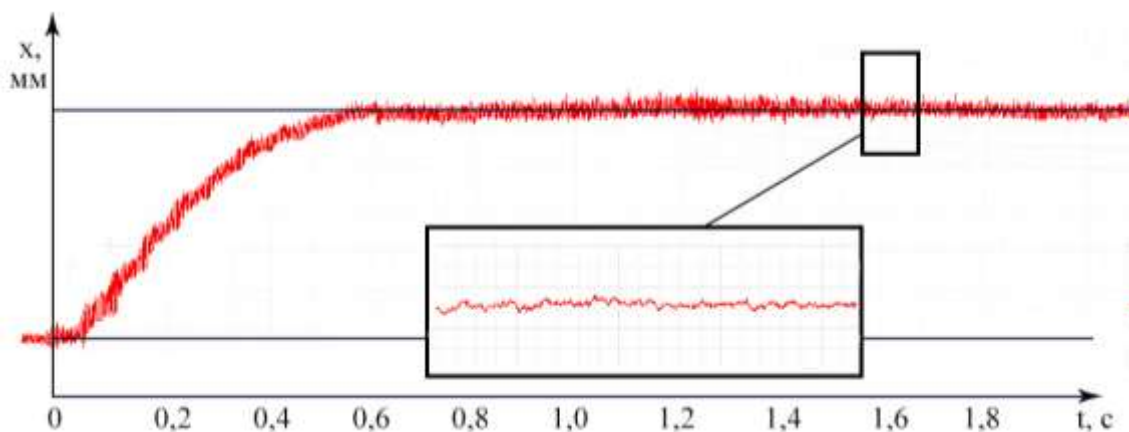


Рис. 8. Осцилограма точіння нікелевого сплаву ХН73МБТЮ на швидкості $v = 100$ м/хв



Рис. 9. Стружка при точінні титанового сплаву ВТ22(а), нікелевого сплаву ХН73МБТЮ(б)

Амплітуда регенеративних автоколивань різальної кромки різця-осцилятора мала відображення на вібраційних рисунках обробленої поверхні (рис. 10).

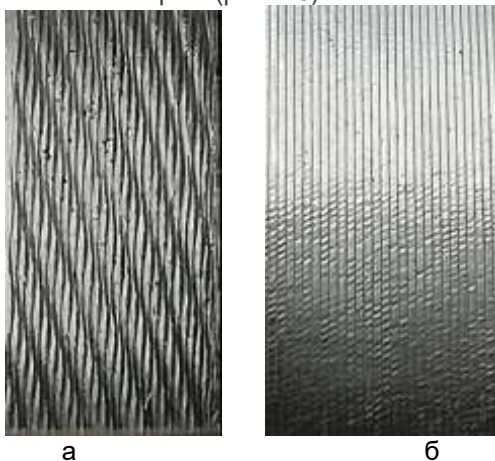


Рис. 10. Вібраційний рисунок на обробленій поверхні сталі 45 (а), титанового сплаву ВТ22 (б) на швидкості $v = 100$ м/хв

Аналіз амплітудно-частотних спектрів (рис. 11) показав, що при точінні сталі 45, міді М2, свинцю С1 та алюмінієвого сплаву Д16 при швидкостях різання, відповідної зони регенеративних автоколивань, спостерігалася домінуюча частота коливань. Домінуюча частота автоколивань в спектрі f_{AK} мала значення наближене до власної частоти різця-осцилятора $f_{вл}$. Це підтверджує те, що вібрація, що спостерігається, являє собою регенеративні

автоколивання в умовах резонансу. При точінні титанового сплаву ВТ22 та нікелевого сплаву ХН73МБТЮ у всьому діапазоні швидкостей різання домінуюча частота в спектрі була відсутня, що вказує на відсутність регенеративних автоколивань.

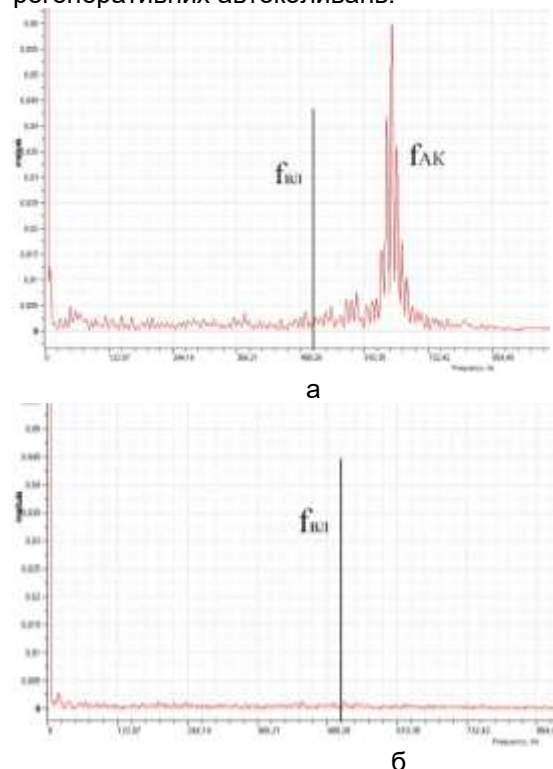


Рис. 11. Амплітудно-частотний спектр при точінні сталі 45 (а), титанового сплаву ВТ22 (б) на швидкості $v = 100$ м/хв



Висновки. Проведені дослідження показали, що тип стружкоутворення істотно впливає на збудження регенеративних автоколивань при точінні. Встановлено, що при обробці матеріалів, що формують зливну стружку (сталь 45, мідь М2, алюмінієвий сплав Д16, свинець С1) спостерігаються стійкі регенеративні автоколивання в певних діапазонах швидкостей різання. Це пов'язано з відносно безперервним характером пластичної деформації та стабільним формуванням шару, що зрізається, що сприяє розвитку позитивного зворотного зв'язку між процесом різання і коливаннями технологічної системи.

У той же час матеріали, для яких характерно сегментоване стружкоутворення, не схильні до регенеративних автоколивань. Періодичне утворення сегментів стружки демпфує автоколивання системи.

Таким чином, результати дослідження показують, що зливне стружкоутворення сприяє збудженню регенеративних автоколивань, тоді як сегментоване стружкоутворення повністю їх пригнічує.

Список використаних джерел

1. Cai Y., Zhuang K., Zhu K. & Wang X. Stability analysis of finite amplitude chatter in turning considering tool wear and process damping effects. *Journal of Manufacturing Processes*. 2025. Vol 141. P. 773-788. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2025.03.019>
2. Wang A., Zhou B. & Jin W. Dynamics of the regenerative turning chatter with little mass eccentricity. *International Journal of Non-Linear Mechanics*. 2024. Vol. 166, 104851. <https://doi.org/10.1016/j.ijnonlinmec.2024.104851>
3. Jatakar K., Shah V., Binali R., Salur E., Sağlam H., Mikolajczyk T. & Patange, A. D. Monitoring built-up edge, chipping, thermal cracking, and plastic deformation of milling cutter inserts through spindle vibration signals. *Machines*. 2023. Vol. 11(8), P. 790. <https://doi.org/10.3390/machines11080790>
4. Ernst H., Martellotti M. The formation of the built-up edge, *ASME Mechanical Engineering*. 1938. Vol. 57. P. 478-498.
5. Steinberg I.S. Elimination of vibrations arising during cutting on a lathe. *Mashgiz*, 1947. 164 p.
6. Sureshbabu D.M., Thyla P.R. A novel control strategy for suppression of regenerative chatter in conventional lathe. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2023. Vol. 125. P. 1917-1926. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09044-z>
7. Tobias S. A., Fishwick W. Theory of regenerative machine tool chatter. *The engineer*. 1958. Vol. 205(7). P. 199-203. <https://doi.org/10.1115/1.4012609>
8. Altintas Y., Stepan G., Budak E., Schmitz T. & Kilib, Z. M. Chatter stability of machining operations. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 2020. Vol. 142(11). 110801. <https://doi.org/10.1115/1.4047391>
9. Schmitz T. L., Smith K. S. Machining dynamics. Springer, 2019. 382 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93707-6>
10. Piispanen V. Theory of chip formation. *Teknillinen Aika Kauslehti* 1937. Vol 27. P. 315.
11. Landberg P. Vibrations caused by chip formation. *Microtechnic*. 1956. Vol 10. P. 219.
12. Komanduri R. Machining and grinding: historical review of the classical papers. *Applied Mechanics Reviews*. 1993. Vol. 46. P. 80-132.
13. Komanduri R., Hou Z.-B. On thermoplastic shear instability in the machining of a titanium alloy (Ti-6Al-V). *Metallurgical and Materials Transactions*. 2002. Vol. 33A, P. 2995-3010.
14. Patwari M. A. U. Role of Chip Serration Frequency in Chatter Formation during End Milling Operation of Stainless Steel. *Advanced Materials Research*. 2010. Vol. 97-101, P. 1989-1992. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.97-101.1989>
15. Limin Sh. Correlation between serrated chip formation and turning chatter in the dry turning of super alloy. *Ferroelectrics*. 2019. 549(1), P. 50-60. <https://doi.org/10.1080/00150193.2019.1592543>
16. Patwari A. U., Nurul Amin A.K.M., Faris W. F., Azhari M., Farahain S. Chip Serration Frequency-The Primary Cause Of Chatter During End Milling Operation. *Advanced Materials Research*. 2011. Vol. 264-265. P. 1174-1179. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.264-265.1174>
17. Mahnama M. Prediction of machining chatter based on FEM simulation of chip formation under dynamic conditions. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2010. Vol. 50. P. 611-620. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2010.03.009>
18. Cedergren S., Frangoudis C., Archenti A. et al. Influence of work material microstructure on vibrations when machining cast Ti-6Al-4V. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2016. Vol. 84. P. 2277-2291. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7827-2>
19. Nakagawa J., Farahani N. D. & Altintas, Y. Identification and effect of chip shear band on chatter vibration in the turning of Nickel Alloy 718. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 2023. Vol. 44, P. 82-90. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2023.05.004>
20. Taylor C.M., Turner S., Papatheou E. et al. Modelling of segmentation-driven vibration in machining. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2013. Vol. 66, P. 207-219. <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4319-5>
21. Pálmai Z., Csernák G. Chip formation as an oscillator during the turning process. 2009. Vol. 326(3-5). P. 809-820. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2009.05.028>
22. Tryshyn P., Kozlova O. (2025). Experimental



Studies of Vibration Excitation During Turning. *Shock and Vibration*, 2025. Vol. 1. 6157874. <https://doi.org/10.1155/vib/6157874>

23. Tryshyn P. Theory of the Cutter-Oscillators Design. *Shock and Vibration*, 2025. Vol. 1, 6679342. <https://doi.org/10.1155/vib/6679342>

24. Tryshyn P.R., Kozlova O.B. Investigation of the minds of the vibration trace with precision. *Vibrations in technology*, 2025. 1 (116), P. 40-47. <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2025-1-5>

References

1. Cai, Y., Zhuang, K., Zhu, K., & Wang, X. (2025). Stability analysis of finite amplitude chatter in turning considering tool wear and process damping effects. *Journal of Manufacturing Processes*, 141, 773-788. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2025.03.019>

2. Wang, A., Zhou, B., & Jin, W. (2024). Dynamics of the regenerative turning chatter with little mass eccentricity. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 166, 104851. <https://doi.org/10.1016/j.ijnonlinmec.2024.104851>

3. Jatakar, K., Shah, V., Binali, R., Salur, E., Sağlam, H., Mikolajczyk, T., & Patange, A. D. (2023). Monitoring built-up edge, chipping, thermal cracking, and plastic deformation of milling cutter inserts through spindle vibration signals. *Machines*, 11(8), 790. <https://doi.org/10.3390/machines11080790>

4. Ernst, H., Martellotti, M. (1938). The formation of the built-up edge, *ASME Mechanical Engineering*, 57, 478–498.

5. Steinberg, I.S. (1947). Elimination of vibrations arising during cutting on a lathe. *Mashgiz*, 164 p.

6. Sureshbabu, D.M., Thyla, P.R. (2023). A novel control strategy for suppression of regenerative chatter in conventional lathe. *Int J Adv Manuf Technol*, 125, 1917–1926. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09044-z>

7. Tobias, S. A., Fishwick, W. (1958). Theory of regenerative machine tool chatter. *The engineer*, 205(7), 199-203. <https://doi.org/10.1115/1.4012609>

8. Altintas, Y., Stepan, G., Budak, E., Schmitz, T., & Kilic, Z. M. (2020). Chatter stability of machining operations. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 142(11), 110801. <https://doi.org/10.1115/1.4047391>

9. Schmitz, T. L., Smith, K. S. (2019). *Machining dynamics*. Springer, 382. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93707-6>

10. Piispanen, V. (1937). Theory of chip formation. *Teknillinen Aika Kauslehti*, 27, 315.

11. Landberg, P. (1956) Vibrations caused by chip formation. *Microtechnic*, 10, 219.

12. Komanduri, R. (1993). Machining and grinding: historical review of the classical papers. *Applied Mechanics Reviews*, 46, 80–132.

13. Komanduri, R. Hou, Z.-B. (2002). On

thermoplastic shear instability in the machining of a titanium alloy (Ti-6Al-V). *Metallurgical and Materials Transactions*, 33A, 2995–3010.

14. Patwari, M. A. U. (2010). Role of Chip Serration Frequency in Chatter Formation during End Milling Operation of Stainless Steel. *Advanced Materials Research*, 97-101, 1989-1992. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.97-101.1989>

15. Limin, Sh. (2019). Correlation between serrated chip formation and turning chatter in the dry turning of super alloy. *Ferroelectrics*, 549(1), 50-60. <https://doi.org/10.1080/00150193.2019.1592543>

16. Patwari, A. U., Nurul Amin, A.K.M., Faris, W. F., Azhari, M., Farahain, S. (2011). Chip Serration Frequency-The Primary Cause Of Chatter During End Milling Operation. *Advanced Materials Research*, 264-265, 1174-1179. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.264-265.1174>

17. Mahnama, M. (2010). Prediction of machining chatter based on FEM simulation of chip formation under dynamic conditions. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 50, 611-620. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2010.03.009>

18. Cedergren, S., Frangoudis, C., Archenti, A. et al. (2016). Influence of work material microstructure on vibrations when machining cast Ti-6Al-4V. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 84, 2277–2291. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7827-2>

19. Nakagawa, J., Farahani, N. D., & Altintas, Y. (2023). Identification and effect of chip shear band on chatter vibration in the turning of Nickel Alloy 718. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 44, 82-90. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2023.05.004>

20. Taylor, C.M., Turner, S., Papatheou, E. et al. (2013). Modelling of segmentation-driven vibration in machining. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 66, 207–219. <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4319-5>

21. Pálmai, Z., Csemák, G. (2009). Chip formation as an oscillator during the turning process, 326(3-5), 809–820. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2009.05.028>

22. Tryshyn, P., Kozlova, O. (2025). Experimental Studies of Vibration Excitation During Turning. *Shock and Vibration*, 2025(1), 6157874. <https://doi.org/10.1155/vib/6157874>

23. Tryshyn, P. (2025). Theory of the Cutter-Oscillators Design. *Shock and Vibration*, 2025(1), 6679342. <https://doi.org/10.1155/vib/6679342>

24. Tryshyn, P.R., Kozlova, O.B. (2025). Investigation of the minds of the vibration trace with precision. *Vibrations in technology*, 1 (116), 40-47. <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2025-1-5>



INFLUENCE OF THE TYPE OF CHIP FORMATION ON THE EXCITATION OF REGENERATIVE SELF-OSCILLATIONS DURING TURNING

The paper presents the results of an experimental study of the influence of the type of chip formation on the occurrence and development of regenerative self-oscillations during turning. The relationship between the nature of chip formation and the dynamic stability of the technological system in the cutting process is considered. Experimental studies were conducted when processing various structural materials that differ in the mechanism of plastic deformation and the nature of chip formation.

It was established that when processing materials that form flowing chips, such as steel 45, copper M2, aluminum alloy D16 and lead C1, stable regenerative self-oscillations arise at certain ranges of cutting speeds. Their appearance is due to the relatively continuous nature of the plastic deformation of the material and the stable formation of the cut layer. Under these conditions,

a positive feedback loop is formed between the change in the thickness of the cut layer and the oscillations of the elements of the technological system, which leads to the development of regenerative self-oscillations and a decrease in the stability of the cutting process.

At the same time, during the processing of materials characterized by segmental chip formation, regenerative self-oscillations were not observed. The periodic formation of chip segments with a certain frequency and the adiabatic nature of the displacement of these segments can lead to the damping of regenerative self-oscillations.

The results obtained show that the type of chip formation is one of the significant factors affecting the dynamic stability of the turning process. Confluent chip formation contributes to the emergence and development of regenerative self-oscillations, while segmental chip formation can completely suppress their development.

Keywords. Vibration, regenerative self-oscillations, chip formation process, oscillator cutter, chip shape, turning..

Відомості про авторів

Тришин Павло Романович – д-р філ., доцент кафедри технології машинобудування Національного університету «Запорізька політехніка» (69000, вул. Жуковського, 64 м. Запоріжжя, Україна, e-mail: trishin@zp.edu.ua), ORCID 0000-0002-3301-5124

Козлова Олена Борисівна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технології машинобудування Національного університету «Запорізька політехніка» (69000, вул. Жуковського, 64 м. Запоріжжя, Україна, e-mail: kozlova@zp.edu.ua), ORCID 0000-0002-3478-5913.

Внуков Юрій Миколайович – д.т.н., професор, незалежний науковець, Каліфорнія, США, e-mail: ypahar@ukr.net, ORCID: 0000-0002-4297-9646

Левченко Андрій Віталійович - аспірант кафедри технології машинобудування Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, e-mail: andrey.levchenko.zp@gmail.com, ORCID: 0009-0006-3615-867X

Pavlo Tryshyn – Ph. D., Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology, National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhia (69000, 64 Zhukovsky St., Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: trishin@zp.edu.ua), ORCID 0000-0002-3301-5124

Kozlova Olena – Ph. D., Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology, National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, (69000, 64 Zhukovsky St., Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: kozlova@zp.edu.ua), ORCID 0000-0002-3478-5913.

Vnukov Yuriy - D.Sc., Professor, Independent scientist, California, USA, e-mail: ypahar@ukr.net, ORCID: 0000-0002-4297-9646.

Levchenko Andriy - graduate student of the Department of Mechanical Engineering Technology, National University Zaporizhzhya Polytechnic, Zaporizhzhya, Ukraine, e-mail: andrey.levchenko.zp@gmail.com, ORCID: 0009-0006-3615-867X.

Стаття надійшла 22.03.2026

Стаття прийнята 10.04.2026

Опубліковано 28.05.2026