

УДК 621.919

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОТЯГУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ СІРОГО ЧАВУНА

*Солона Олена Василівна к.т.н., доцент*

*Вінницький національний аграрний університет*

*Єрьомін Павло Миколайович здобувач*

*Чернявський Олександр Васильович к.т.н., професор*

*Кіровоградський національний технічний університет*

*Solona O.*

*Vinnitsa National Agrarian University*

*Eryomin P.*

*Chernyavskiy A.*

*Kirovohrad National Technical University*

*Анотація:* із застосуванням електронного мікроскопу «Camscan-4DV» та допоміжного обладнання розроблена методика дослідження процесу формування стружки під час обробки деталей із сірого чавуну, яка дозволяє в режимі реального часу візуально спостерігати у камері мікроскопу та одночасно фіксувати на фотоплівку процес отримання елемента стружки, а також енергосилові параметри, які супроводжують цей процес.

*Ключові слова:* ріжуче протягування, електронний мікроскоп, сірий чавун, елемент стружки.

### *Вступ*

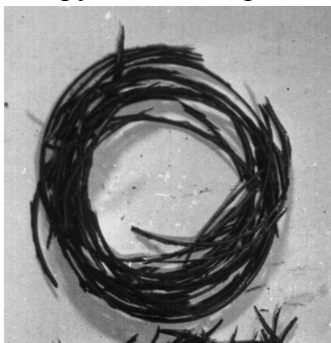
Зниження енергоємності процесів різання металів є одним із сучасних та пріоритетних напрямків розвитку обробки металу. Складність проблеми полягає у великій кількості факторів, що мають безпосередній вплив на важливі характеристики процесу різання. Знання внутрішніх взаємозв'язків процесу різання, особливо, контактних явищ між передньою гранню різця і металом та особливостей формування стружки, дуже важливо для проведення розрахунків інструментів на міцність, підбору інструментальних матеріалів, а також призначення параметрів інструментів і режимів обробки. Отримані закономірності розподілу напруг у оброблюваному матеріалі та характер його руйнування дозволяють вибрати найбільш раціональні умови роботи інструмента та отримати високу якість обробленої поверхні.

### *Наукові передумови*

Процес протягування отворів у чавунних деталях повинен відбуватися в умовах примусового поділу стружки та ефективного використання стружкових канавок [1]. Це пояснюється тим, що обробка отворів, зокрема зняття припуску ріжучим зубцем, виконується у замкненому просторі. Отримана стружка залишається у обмеженому об'ємі стружкової канавки до моменту виходу ріжучого зубця інструмента із отвору, тому дуже важливо, щоб вона не пакетувалась і не наносила ушкоджень вже обробленій поверхні.

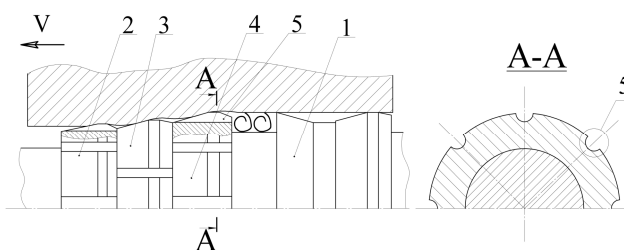
Так, випробування протяжок з одним ріжучим зубцем без стружкоподільчих канавок, які призначені для обробки чавунних гільз ДВЗ) [2-4] показали істотний недолік конструкції, а саме утворення кільцеподібної стружки (рис. 1), що практично не розділяється на частині і

має низьку ступінь ущільнення у стружковій канавці. Для видалення такої стружки необхідне використання допоміжного інструмента і витрат часу.



*Рис. 1. Кільцеподібна стружка, що утворилась перед ріжучим зубцем із суцільним лезом*

Для усунення цих недоліків авторами була запропонована конструкція протяжки [5], яка має блок деформуючих елементів 2,3,4 для попереднього пластичного деформування шару матеріалу, що зрізується, та один ріжучий зуб 1 із замкнутим по периметру лезом (рис. 2).



*Рис. 2. Секція деформуюче-ріжучої протяжки з проточками для поділу стружки*

Подрібнення стружки виконується за рахунок стружкоподільчих викружок 5, які виконані на деформуючому елементі, розташованому перед ріжучим зубцем. Ріжучий зуб працює по внутрішній поверхні отвору, на який є ряд повздовжніх виступів, що утворилися внаслідок взаємодії з деформуючим елементом з викружками. При цьому процес відбувається в умовах вільного ортогонального різання.

Візуальне спостереження за зовнішньою формою стружки при високих ступенях збільшення та деталізації дають можливість більш досконало зафіксувати окремі стадії утворення стружки, їх послідовність, закономірності розвитку елемента та відповідно удосконалити цей процес. В зв'язку з тим, що різання при ріжучому протягуванні відбувається в закритій зоні, його візуальне спостереження неможливе. В такому випадку дослідники звертаються до моделювання цього процесу (наприклад, використовуючи метод стругання, при якому умови праці ріжучих зубців для обох інструментів дуже близькі) [6].

Для більш детального дослідження стружкоутворення багато дослідників звертаються до методів операторської та швидкісної кіно- та відеозйомки зони утворення стружки [7,8]. Вказані методи є складними з точки зору постановки та проведення дослідів, крім того, вони не завжди дозволяють отримати чітку та повну інформацію щодо досліджуваного об'єкту.

### *Мета роботи*

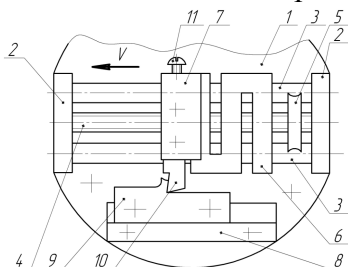
Моделювання процесу ріжучого протягування деталей із сірого чавуна з використанням сучасних методів спостереження та фіксації отриманих результатів на

фотоплівку. Виходячи із вищесказаного, для досягнення поставленої мети вирішувались такі задачі:

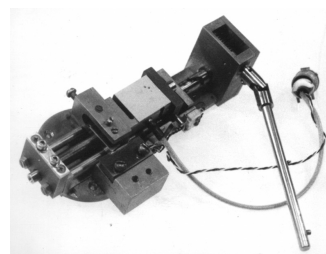
- 1) Розробка методики дослідження;
- 2) Моделювання ріжучого протягування зразків із сірого чавуна, а також оцінка характеру деформації оброблюваного матеріалу у зоні стружкоутворення.

### *Матеріал та результати дослідження*

В даній роботі запропоновано та реалізовано новий спосіб дослідження процесу утворення стружки. Для реалізації способу використано електронний мікроскоп „Camscan-4DV” та допоміжну приставку „стискання-розтяг” виробництва фірми “Herland” (Японія). На базі вказаної приставки розроблено спеціальний пристрій, який дозволяє здійснити процес стругання зразків із досліджуваного матеріалу безпосередньо у камері мікроскопу. Спрощена схема та загальний вигляд пристосування представлено на рис. 3 та 4



*Рис. 3. Спрощена схема пристосування*

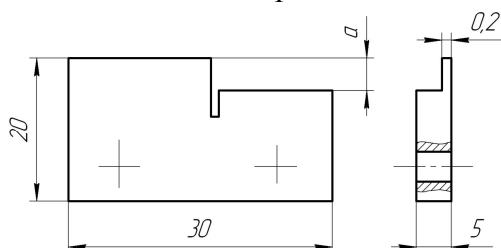


*Рис. 4. Загальний вигляд пристосування у зборі*

Пристосування складається із плити 1 (рис. 3), двох стійок 2, двох циліндричних напрямних 3, ходового гвинта 4 з черв'ячною передачею 5. На напрямних встановлена рухома каретка, яка оснащена тензометричним динамометром 6, до якого закріплено різцетримач 7. На плиті 1 розташований спеціальний стіл 8 зі зразком із досліджуваного матеріалу 9. В різцетримачі 7 кріпиться різець 10. Встановлення різця на необхідну товщину шару, що зрізується, виконується за допомогою регулювального гвинта 11. Ескіз зразка показано на рис. 5.

Поверхні, що підлягають обробці, перед проведенням дослідження поліруються за допомогою алмазних паст до дзеркального блиску.

Модуль системи навантаження, який входить до складу мікроскопу, дозволяє автоматично реєструвати навантаження на різець в діапазоні до 200 Н з точністю до 0,1 Н в любий момент процесу різання. Електродвигун приводу рухомої каретки забезпечує безступінчасте регулювання швидкості переміщення різця в достатньо широкому діапазоні ( $V=0,5...5$ ) $\cdot 10^{-6}$  м/хв. В результаті можливо досліджувати динаміку процесу стружкоутворення в області мікро- так і малих швидкостей різання.



*Рис. 5. Ескіз зразка, де a – товщина зрізу*

Досліди проводилися при тиску у камері мікроскопу  $2 \cdot 10^{-6}$  Па, напрузі прискорення пучка електронів 25 keV та току пучка 100 мА. Дослідження процесу стружко утворення виконувалось від моменту врізання різця в досліджуваний зразок і до утворення окремого елемента стружки. При цьому на екрані мікроскопа, за зміною кольору меж включень вільного графіту, візуально спостерігалась зміна морфології будови досліджуваних матеріалів в зоні утворення стружки, а також виконувалось періодичне фотографування досліджуваної зони при вимкненому навантажувальному пристрої (без зняття навантаження) з одночасним записом сил різання. Це дозволило повністю проконтролювати процес формування окремого елемента стружки з фіксацією зміни сили різання при його утворенні, а також виявити межі зони утворення стружки.

*Дослідження процесу утворення стружки при різанні зразків із сірого чавуну.* В якості зразків використовувався сірий чавун марки СЧ20. Хімічний склад та твердість оброблюваного матеріалу наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Хімічний склад в % та твердість оброблюваного матеріалу

Оброблюваний матеріал	C	Cr	Si	Mn	Ti	V	Mg	НВ, ГПа
СЧ20	2,65	0,10	0,10	0,5	0,08	–	–	2,12

Спостереження за процесом утворення стружки при різанні у камері мікроскопу «CAMSCAN-4DV» проводились згідно описаної методики. Результати періодичного фотографування процесу різання зразків із сірого чавуну у камері мікроскопу та значення сил різання показано на рис. 6...10. Шкала збільшення наведена у нижньому правому куту кадра.

На рисунку 6 показано зону різання в початковому стані, коли ріжучий елемент ще тільки входить у контакт з досліджуваним матеріалом, а зусилля різання має невелике значення (до 10 Н). Стрілками відмічено характерні включення пластинчастого графіту, які на рисунку мають вигляд темних ліній довільної форми.

Подальший рух ріжучого елемента під дією сили різання призводить до істотних змін у стані оброблюваного матеріалу. Поперед різця створюється здеформований (стиснений) шар металу. На рис. 7 представлено стружкоутворення на початковій стадії, для якого характерна поява мікротріщин у вигляді світлих смужок (показано на рисунку стрілкою).

Основне руйнування чавуна відбувається уздовж графітних включень в тілі зразка. Розвиток зони стружкоутворення показано на рис. 8, де стрілками відмічено її границю.

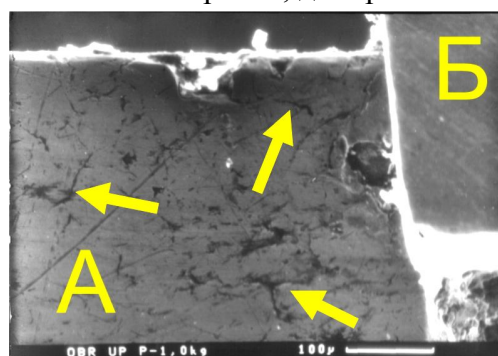
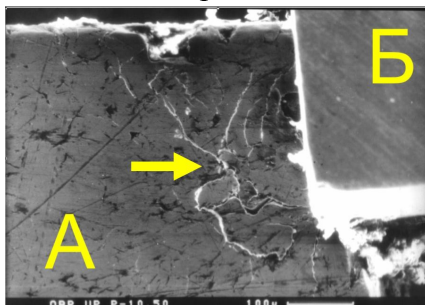


Рис. 6. Початкове положення інструмента відносно зразка: А – зразок, Б – ріжучий елемент

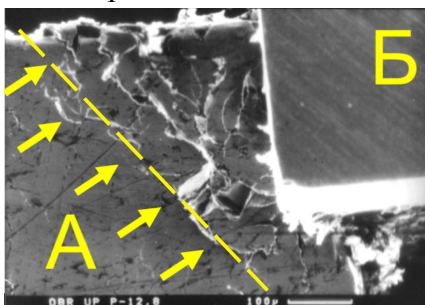
Як видно із рисунка, переміщення ріжучого елемента призводить до подальшого руйнування оброблюваного матеріалу. Стружка ще не утворилась, але вже намітилась границя між zdeформованим та нездеформованим шаром металу. Металева основа чавуну у зоні контакту з лезом ріжучого елемента починає розпадатися на окремі частини, границі котрих обмежені графітовими включеннями, що розташовані поблизу zdeформованої зони.



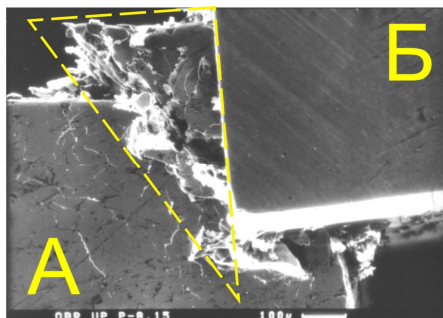
*Рис. 7. Виникнення зони стружкоутворення: А – зразок, Б – ріжучий елемент*

На наступному етапі стружкоутворення руйнування матеріалу приймає різко виражений характер, який показано на рис. 9

Зона стружкоутворення починає приймати чітко виражену трикутну форму, яка показана пунктирною лінією. Ця границя являє собою площину зсуву, яка зорієнтована під кутом  $\beta$  до вектора швидкості різання. Подальше зростання сил різання призводить до перевищення межі текучості чавуну на зсув і отриманий елемент стружки відокремлюється від тіла зразка. Зусилля різання при цьому знижується практично до нуля. Момент відокремлення такої стружки показано на рис. 10.



*Рис. 8. Розвиток зони стружкоутворення: А – зразок, Б – ріжучий елемент*



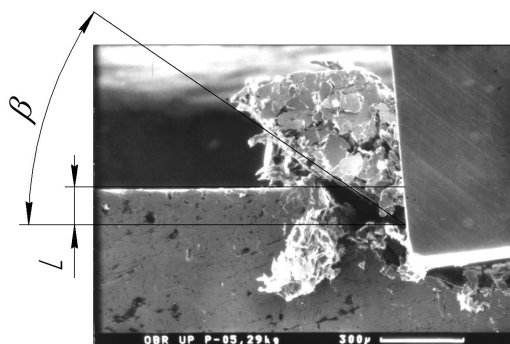
*Рис. 9. Зона стружкоутворення: А – зразок, Б – ріжучий елемент*

Саме цим можна пояснити той факт, що значення сили різання під час обробки дослідного зразка має нерівномірний характер, тобто поступове зростання зусилля різання змінюється її різким спадом.

За результатами, що були отримані під час моделювання, можна зробити наступні висновки:

1) Отримана під час різання стружка має елементну будову трикутної форми, а її відокремлення відбувається по графітним включенням уздовж найбільш послаблених місць перерізу.

2) Циклічна зміна зусиль різання вказує на наявність вібрації при утворенні елементної стружки, що має суттєвий вплив на якість обробленої поверхні та стійкість інструменту.



**Рис. 10. Елемент стружки, де  $\beta$  – кут зсуву,  $L$  – відстань до зони максимального напруження**

3) Наявність в конструкції інструмента [4] деформуючих елементів з обох сторін ріжучого зубця дозволяє значно зменшити вібрації під час робочого руху інструмента.

### Список літератури

1. Маргулис Д. К. Протяжки переменного резания / Д. К. Маргулис // Москва–Свердловск : Машигиз 1962 – 269 с.
2. Розенберг А. М. Твердосплавные режущие протяжки и прошивки / А. М. Розенберг, В. П. Деледивка, Р. А. Маслов // Синтетические алмазы. – Киев, 1970. – Вып. №1. С.19–23.
3. Розенберг О. А. Сборная твердосплавная протяжка для обработки гильз и цилиндров / О. А. Розенберг, Я. Б.Немировский, А. В. Чернявский // – Станки и инструмент. – 1986. – №8. – С. 19–20.
4. Розенберг О. А. Особенности использования комбинированного протяжного инструмента для обработки внутренних полостей крупных чугунных цилиндров / О. А. Розенберг, С. Ф. Студенец, В. В. Мельниченко Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: Изд-во ИСМ ім В. Н. Бакуля НАН України, 2008. – Вып. 11, С. 428-433
5. Патент на корисну модель 44522 Україна, МПК (2009) B23D 43/00 Секція комбінованої протяжки / Чернявський О. В., Єрьомін П. М. ; заявник та патентотримач Кіровоградський національний технічний університет № u200903236 заявл. 06.04.2009 ; опубл. 12.10.2009, Бюл. №19.
6. Житницький С. И. Чистота поверхности чугунных деталей при протягивании твердосплавными протяжками / С. И. Житницький // «Станки и инструмент», 1964. – Вып. 6.
7. Розенберг Ю. А. Исследование процесса резания металлов с помощью киносъемки / Ю. А. Розенберг, И. Б. Филипченко // Известия Томского политехнического института им. С. М. Кирова / Том №107, Томск, 1963. – С.35-42.
8. Розенберг Ю.А. Вопросы механики процесса резания малопластичных металлов: автореф. дис. на соискание степени докт. техн. наук / Ю. А. Розенберг // – Горький, 1966. – 30 с.

### References

1. Margulis, D.K. *Protyagshki peremennogo rezaniya [AC broach cutting]*, Mashgiz, Moscow-Sverdlovsk, USSR
2. Rozenberg, A.M., Deledivka V.P. and Maslov, R.A. "Carbide cutting broaches and firmware" (1970), *Synthetic diamonds*, Kyiv, vol. 1, pp. 19-23.
3. Rozenberg, O.A., Nemirovskiy Ya.B. and Cherniyavskiy, A.V. "Carbide broach team to handle and cylinder liners" (1986), *Machines and tools*, vol. 8, pp. 19-20.
4. Rozenberg, O.A., Studenets, S.F. and Melnichenko, V.V. "Features a combined broaching tool for internal cavities large cast-iron cylinders" (2008), *Rock cutting and metalworking tools - machinery and technology of its manufacture and use: Collected works teach, Institute for Superhard Materials, National Academy of Ukraine, Kyiv, Ukraine*. vol. 11, pp. 428-433.
5. Cherniyavskiy, A.V. and Eryomin, P.N. *Ukraine MPK (2009), Utility patent "Section combined broach"*, priority from 2009, bulletin №19.
6. Gitnitskiy, S.I. "Clean the surface of cast iron parts when pulling carbide broach" (1964), *Machines and tools*, vol. 6, pp. 26-28.
7. Rozenberg, Yu.A. and Philipchenko, I.B. "Investigation of the process of metal cutting through filming", (1963), *Tomsk, Tomsk Polytechnic Institute*, vol. 107, pp. 35-42.
8. Rozenberg, Yu.A. (1966) "Questions mechanics of the cutting process small plastic materials, Thesis abstract for Doctor. Sc. (Engineering.), Gorkiy, USSR.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОТЯГИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА

**Аннотация:** с применением электронного микроскопа «Camscan-4DV» и вспомогательного оборудования разработана методика исследования процесса формирования стружки при обработке деталей из серого чугуна, которая позволяет в режиме реального времени визуально наблюдать в камере микроскопа и одновременно фиксировать на фотопленку процесс получения элемента стружки, а также энергосиловые параметры, которые сопровождают этот процесс.

**Ключевые слова:** режущее протягивание, электронный микроскоп, серый чугун, элемент стружки.

### MODELING PULLING GRAY CAST IRON CASTINGS

**Summari:** using electron microscope «Camscan-4DV» and other auxiliary equipment the research methodology is designed for process of chip formation during machining of gray cast iron parts. The methodology enables simultaneous visual observation and recording of chip formation and its force parameters.

**Keywords:** cutting broaching, the electron microscope, gray cast iron, an element chips.