

**Висновки.** У ході дослідження було обґрунтовано конструкцію цистерни для транспортування та тимчасового зберігання зріджених вуглеводневих газів. Проведено розрахунки міцності елементів конструкції із застосуванням методу скінченних елементів, що дозволило визначити критичні ділянки та забезпечити необхідний рівень безпеки. Аналіз механічних властивостей сталі 16Г2АФ показав її придатність для виготовлення корпусу цистерни, враховуючи умови експлуатації при високому тиску та перепадах температур. Використання сучасних інженерних методів розрахунку дозволяє оптимізувати конструкцію та підвищити її експлуатаційну надійність.

## ЛІТЕРАТУРА

1. The Engineering ToolBox. Propane Butane Mixture - Evaporation Pressure. Evaporation pressure of propane butane mixture vs. temperature. Режим доступу: [https://www.engineeringtoolbox.com/propane-butane-mix-d\\_1043.html#butane\\_vapor\\_pressure\\_absolute](https://www.engineeringtoolbox.com/propane-butane-mix-d_1043.html#butane_vapor_pressure_absolute) (Дата звернення 10.04.2025)
2. KADATEC. LPG TANKWAGEN UND ISO TANKCONTAINER. FÜR SICHERE TRANSPORT UND DISTRIBUTION VON FLÜSSIGGAS. Режим доступу: [https://www.kadatec.cz/wp-content/uploads/2017/11/LPG\\_Tankwagen.pdf](https://www.kadatec.cz/wp-content/uploads/2017/11/LPG_Tankwagen.pdf) (Дата звернення 10.04.2025)
3. Metinvest-smc. Характеристика сталі 16Г2АФ. Режим доступу: [https://metinvest-smc.com/ua/steel/stal-16g2af/?srsId=AfmBOoov400Dk8DIDn9\\_VNr7AFzpxPID6acEzf0vTPVGoxFXIqgs0di](https://metinvest-smc.com/ua/steel/stal-16g2af/?srsId=AfmBOoov400Dk8DIDn9_VNr7AFzpxPID6acEzf0vTPVGoxFXIqgs0di) (Дата звернення 10.04.2025)
4. ДСТУ EN 10028-3:2018 (EN 10028-3:2017, IDT). Вироби пласкі сталеві для використання під тиском. Частина 3. Нормалізовані зварювані дрібнозернисті сталі.
5. ДСТУ ISO 148-1:2022 Металеві матеріали. Випробування на ударний вигин за Шарпі на маятниковому копрі. Частина 1. Метод випробування (ISO 148-1:2016, IDT)
6. Європейська Угода "Про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів (ДОПНВ) 2025 р.
7. ДСТУ 8541:2015 Прокат сталевий підвищеної міцності. Технічні умови
8. ДСТУ EN 12493:2019 Устаткування та комплектування для зрідженого нафтового газу. Зварні сталеві баки для автоцистерн. Проектування та виготовлення (EN 12493:2013, IDT)
9. ДСТУ EN 10029:2022 Гарячекатаний сталевий лист завтовшки 3 мм і більше. Допуски на розміри та форму (EN 10029:2010, IDT)

УДК 621.9.02

**АНАЛІЗ НАВАНТАЖЕНЬ У ТОКАРНИХ РІЖУЧИХ ІНСТРУМЕНТАХ****З.В. Сазанішвілі<sup>1</sup>, М.Д. Корнієнко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>к.т.н., доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, e-mail: [szanishvili.z.v@nmu.one](mailto:szanishvili.z.v@nmu.one)

<sup>2</sup>студентка групи 132-23-1, e-mail: [korniienko.m.d@nmu.one](mailto:korniienko.m.d@nmu.one)

<sup>1,2</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

**Анотація.** Проведено аналітичний огляд силових впливів та деформацій різального інструменту з використанням теореми Кастільяно для оцінки відхилень, що виникають під час механічної обробки на верстатах з числовим програмним керуванням.

*Ключові слова:* токарний інструмент, карбід вольфраму, ЧПК, деформація, теорема Кастільяно.

**STRESS ANALYSIS OF TURNING CUTTING TOOLS****Zoia Sazanishvili<sup>1</sup>, Mariia Korniienko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ph.D., Associate Professor, Department of Engineering and Generative Design, e-mail: [szanishvili.z.v@nmu.one](mailto:szanishvili.z.v@nmu.one)

<sup>2</sup>Student, e-mail: [korniienko.m.d@nmu.one](mailto:korniienko.m.d@nmu.one)

<sup>1,2</sup>Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

**Abstract.** An analytical review of force effects and deformations of a cutting tool using the Castigliano theorem has been conducted to assess deviations arising during machining on computer numerically controlled (CNC) machines.

*Key words:* turning tool, tungsten carbide, CNC, deformation, Castigliano's theorem.

**Вступ.** Сучасне машинобудівне виробництво характеризується високими вимогами до точності, продуктивності та надійності технологічного обладнання. В умовах зростаючої конкуренції важливо забезпечити стабільну якість обробки деталей за мінімальних витрат ресурсів, що безпосередньо залежить від ефективності застосовуваних різучих інструментів.

Токарні верстати є одними з найуніверсальніших машин для механічної обробки, що застосовуються у широкому спектрі виробничих завдань. Завдяки своїй гнучкості вони забезпечують високу точність формоутворення та продуктивність під час обробки деталей різного рівня складності. Особливої актуальності набуває застосування токарних верстатів у поєднанні з числовим програмним керуванням (ЧПК), що дозволяє реалізовувати багатоступеневі операції в межах єдиного налаштування, включаючи точіння, нарі-

зання різьби, свердління та інші процеси. Такий підхід знижує потребу в додатковому обладнанні й сприяє ефективнішому використанню часу та ресурсів у виробництві.

Одним із ключових факторів, що впливають на якість і стабільність токарної обробки, є правильний вибір ріжучого інструменту. Токарні різці виступають центральним елементом технологічного процесу, забезпечуючи контрольоване видалення матеріалу із заготовки. Геометрія, конструкція та матеріал ріжучої частини інструменту мають бути адаптовані до конкретних умов експлуатації, що гарантує високу точність, мінімальні втрати матеріалу та зменшення зношування інструмента.

Асортимент матеріалів, що піддаються токарній обробці, включає метали, полімери, деревину та композити — кожен із яких потребує специфічного підходу щодо режимів різання та вибору інструментального забезпечення. Ефективне поєднання матеріалу заготовки з оптимальними параметрами інструменту дозволяє зберігати механічні властивості оброблюваної деталі та підвищувати ресурс її подальшої експлуатації.

З огляду на інтенсивний розвиток промислових технологій, зростають вимоги до надійності, довговічності та точності токарних інструментів. Висока конкуренція на ринку металообробки диктує потребу у створенні інструментів, які здатні забезпечити стабільну якість продукції за мінімальних витрат. У цьому контексті застосування твердосплавних матеріалів, зокрема карбіду вольфраму, є доцільним і перспективним напрямом. Оптимізація конструкції таких інструментів дозволяє досягти високої зносостійкості та механічної міцності, скорочуючи прості обладнання та підвищуючи загальну ефективність виробничих процесів.

**Мета роботи** полягає в аналізі конструкції токарного ріжучого інструменту з твердосплавного матеріалу на основі карбіду вольфраму з урахуванням складних силових навантажень, що діють під час обробки, з метою підвищення його зносостійкості, точності та надійності в умовах експлуатації на верстатах з числовим програмним керуванням.

**Матеріал і результат досліджень.** У роботі розглянуто токарний різець із механічним кріпленням змінної ріжучої пластини (рис. 1). Його конструкція складається з державки та ріжучого елемента [1]. Державка виконує функцію опорного елемента, для її виготовлення, як правило, використовують конструкційну сталь, що забезпечує необхідну жорсткість і опір деформаціям під час обробки.

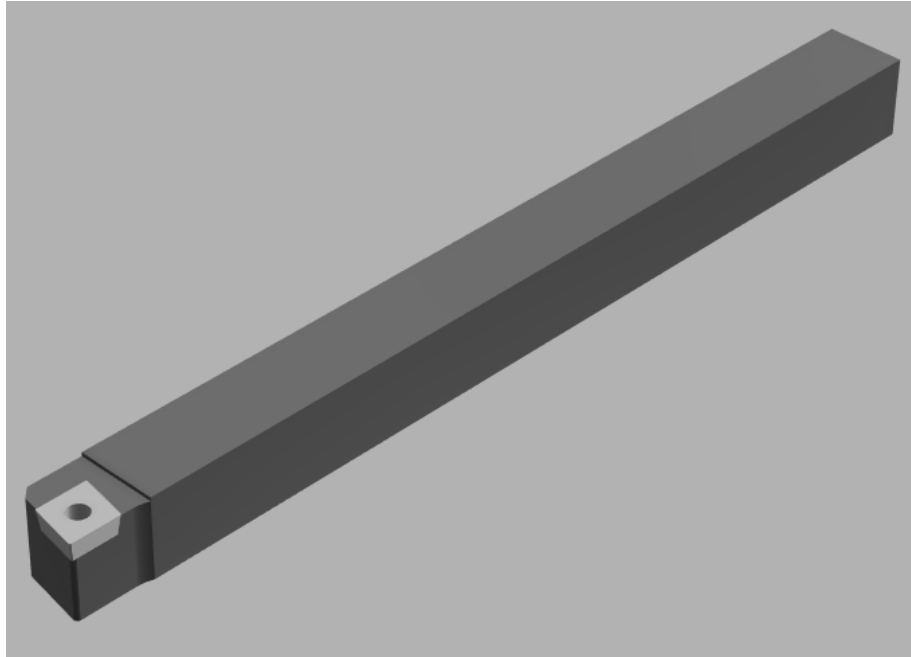


Рис. 1. – Токарний різець

Ріжуча частина представлена змінною твердосплавною пластиною [2] квадратної форми, яка закріплюється на торці державки за допомогою механічного з'єднання — найчастіше гвинта або фіксатора. Такий спосіб кріплення забезпечує надійність фіксації пластини та дозволяє швидко здійснювати її заміну без необхідності повного демонтажу інструмента. Пластина встановлюється під оптимальним кутом до осі державки, що сприяє ефективному процесу різання, зниженню навантажень та забезпеченню належного відведення стружки.

Завдяки своїм конструктивним особливостям, подібні інструменти широко застосовуються у виробництві, зокрема на верстатах з ЧПК. Їх перевагами є підвищена експлуатаційна гнучкість, зручність в обслуговуванні, економічність використання змінних ріжучих елементів, а також здатність забезпечувати стабільну якість обробки за умови інтенсивної експлуатації.

Для оцінювання напружено-деформованого стану токарного ріжучого інструменту доцільним є використання теореми Кастільяно, яка базується на принципі потенційної енергії деформації [3]. Цей метод дозволяє здійснити аналітичну оцінку реакції інструментальної системи на зовнішні навантаження, враховуючи внутрішні деформації, що виникають у процесі обробки. Застосування теореми особливо ефективно в умовах складного навантаження, де просте врахування згину є недостатнім для повноцінної характеристики поведінки ріжучого елемента.

Одним із критичних факторів, що впливають на точність виготовлення деталей, є положення ріжучого інструменту відносно осі симетрії. Відхилення його положення призводить до порушення геометричних допусків,

зокрема, циліндричності та округлості, що ускладнює забезпечення заданої якості поверхні. У типових умовах навантаження сила різання викликає згинальний момент у державці інструменту. В таких випадках застосовується спрощене рівняння прогину:

$$\delta = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad (1)$$

Однак, у випадку одноточкових інструментів ріжуча кромка часто не збігається з віссю тримача, що призводить до одночасного виникнення згинального та крутильного моментів. Тому необхідним є застосування методу, що враховує обидва типи навантажень. Теорема Кастільяно у цьому випадку дозволяє точно визначити сумарний прогин:

$$\delta = \int_0^L \frac{M_e \cdot \frac{\partial M_e}{\partial F}}{E \cdot I} dx + \int_0^L \frac{M_b \cdot \frac{\partial M_b}{\partial F}}{G \cdot I_p} dx \quad (2)$$

Розрахунок енергії деформації здійснюється окремо для кожного типу навантаження: згин (формула 3) і кручення (формула 4).

$$\int_0^L \frac{M_e \cdot \frac{\partial M_e}{\partial F}}{E \cdot I} dx = \int_0^L \frac{(F \cdot x) \cdot x}{E \cdot I} dx = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad (3)$$

$$\int_0^L \frac{M_b \cdot \frac{\partial M_b}{\partial F}}{G \cdot I_p} dx = \int_0^L \frac{(F \cdot x) \cdot x}{G \cdot I_p} dx = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot G \cdot I_p} \quad (4)$$

Загальний прогин у точці прикладення сили обчислюється як похідна повної енергії за силою:

$$\delta = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot G \cdot I_p} \quad (5)$$

Для подальших розрахунків деформаційних характеристик токарного ріжучого інструменту використано такі вхідні дані.

Зусилля різання, яке прикладається до ріжучої частини інструменту, становить 1000 Н. Відстань від точки прикладення сили до фіксації інструменту, тобто довжина консолі, приймається рівною 50 мм. Модуль пружності матеріалу державки, що визначає її здатність чинити опір деформаціям за навантаження, становить  $210 \cdot 10^3$  МПа.

Модуль зсуву розраховано за стандартним співвідношенням між модулем пружності та коефіцієнтом Пуассона. За прийнятого значення коефіцієнта Пуассона  $\nu \approx 0,3$ , модуль зсуву наближається до  $81 \cdot 10^3$  МПа.

Момент інерції поперечного перерізу державки щодо осі згину становить  $104 \text{ мм}^4$ , що є важливим параметром для обчислення прогину від згинального моменту. Полярний момент інерції, який враховує опір крутильному навантаженню, становить  $208 \text{ мм}^4$ . Це значення отримано як подвоєне значення моменту інерції, що є типовим для прямокутних перерізів у разі кручення навколо осі симетрії.

Підставивши наведені вище значення параметрів у рівняння (5), яке враховує сумарний вплив згинального та крутильного моментів згідно з теоремою Кастільяно, та провівши відповідні аналітичні обчислення, отримуємо загальний прогин у точці прикладання сили. Результат розрахунку становить  $0,0124 \text{ мм}$ , що свідчить про високу жорсткість конструкції ріжучого інструменту та підтверджує ефективність застосованої методики оцінки деформацій.

**Висновки.** Аналітичне моделювання напружено-деформованого стану інструмента за допомогою теореми Кастільяно дало змогу точно оцінити прогин ріжучої частини під дією складних навантажень. Врахування як згинального, так і крутильного моментів дозволяє отримати реалістичні результати моделювання, що підтверджується малим значенням сумарного відхилення ріжучої кромки ( $0,0124 \text{ мм}$ ). Такий підхід забезпечує підвищення точності та надійності обробки, а також сприяє зменшенню ризиків передчасного зносу інструменту.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Гомон, С.С., & Левченко, О.В. (2019). Аналіз конструкцій ріжучих інструментів у токарній обробці. *Вісник машинобудування та транспорту*, (4), 42–47.
2. DIN ISO 513:2012-11. *Classification and application of hard cutting materials for metal removal with defined cutting edges*.
3. Romero, I. (2017). A generalization of Castigliano's theorems for structures with eigenstrains. *Archive of Applied Mechanics*, 87, 1727–1737.

УДК 004.92; 711

## ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ МАЛОГАБАРИТНОЇ МОДУЛЬНОЇ ДРОБІЛЬНО-СОРТУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

О.В. Федоскіна<sup>1</sup>, М.М.Єрісов<sup>2</sup>, В.О.Федоскін<sup>3</sup>

<sup>1</sup>доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, e-mail: [fedoskina.o.v@nmu.one](mailto:fedoskina.o.v@nmu.one)

<sup>2</sup>асистент кафедри автомобілів та автомобільного господарства, e-mail: [erisov@ukr.net](mailto:erisov@ukr.net)

<sup>3</sup>доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства, e-mail: [fedoskin\\_va@ukr.net](mailto:fedoskin_va@ukr.net)

<sup>1,2,3</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

**Анотація.** Виникнення та збільшення кількості відходів руйнування значно ускладнює проблему управління та відновлення твердих побутових відходів. Існуюче дробильно-сортувальне обладнання малоефективне на ділянках з невеликим запасом сортувальних відходів, що характерно для районів зі зруйнованими війною спорудами. У зв'язку з цим, виникає необхідність у створенні малогабаритної пересувної установки продуктивністю до 5 т/год.

*Ключові слова:* Відходи руйнування, дроблення, сортування, пересувна установка

## PREREQUISITES FOR THE CREATION OF A SMALL-SIZED MODULAR CRUSHING AND SORTING PLANT FOR PROCESSING SOLID MUNICIPAL WASTE

O.V. Fedoskina<sup>1</sup>, M.M. Yerisov<sup>2</sup>, V.O. Fedoskin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>associate professor of Engineering and Generative Design Department, e-mail: [fedoskina.o.v@nmu.one](mailto:fedoskina.o.v@nmu.one)

<sup>2</sup>assistant of the department of automobiles and automobile economy, e-mail: [erisov@ukr.net](mailto:erisov@ukr.net)

<sup>3</sup>associate professor of the department of automobiles and automotive engineering, e-mail: [fedoskin\\_va@ukr.net](mailto:fedoskin_va@ukr.net)

<sup>1,2,3</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

**Abstract.** The emergence and increase in the amount of demolition waste significantly complicates the problem of managing and recovering solid household waste. Existing crushing and sorting equipment is inefficient in areas with a small supply of sorting waste, which is typical for areas with structures destroyed by war. In this regard, there is a need to create a small-sized mobile unit with a capacity of up to 5 t/h.

*Keywords:* Waste destruction, crushing, sorting, mobile plant