

В ході дослідження визначено, що форма деталі, загалом, не має суттєвого безпосереднього впливу на силу опору при обробленні, проте форма може впливати на характер оброблення та сили тертя у парі МАІ – оброблювана деталь.

#### Список посилань

1. Майборода В.С. Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструменту для фінішної обробки фасонних поверхонь: дис. докт. техн. наук: 05.03.01 / Майборода В. С. – Київ, 2001. – 404 с.
2. Заставський, К., Майборода, В. (2022). Вплив розміру деталей на сили лобового опору при магнітно-абразивному обробленні. *Mechanics and Advanced Technologies*, 6(2), 168–177. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2022.6.2.264410>
3. Майборода В. С. Магнітно-абразивная обработка деталей сложной формы / В. С. Майборода, И. В. Слободянюк, Д. Ю. Джулий. – Житомир: ПП "Рута", 2017. – 272 с.
4. Gudmundsson Snorri. 2014. *General Aviation Aircraft Design : Applied Methods and Procedures*. First ed. Oxford UK: Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-06824-2>

УДК 621.941-229.3:531.133

**Охріменко О.А., докт. техн. наук, професор**

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
[alexhobs77@gmail.com](mailto:alexhobs77@gmail.com)

**Клочко О.О., докт. техн. наук, професор**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
[ukrstando21@gmail.com](mailto:ukrstando21@gmail.com)

**Фролов В.К., канд. техн. наук, доцент**

**Шуплєцов Д.К., асистент**

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
[d.shuplietsov@gmail.com](mailto:d.shuplietsov@gmail.com)

**Сухіна Є. В., інженер**

Науково-технічний центр «СодікоМ-Дніпро», м. Київ, [sodick\\_tech@ukr.net](mailto:sodick_tech@ukr.net)

## ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗУБОРІЗНОГО ДОВБАЧА

На даний час найбільш поширеним способом оброблення внутрішнього зубчастого зачеплення та отримання зубчастого вінця з блоку шестерень є спосіб зубодовбання. Довбач має вигляд зубчастого колеса з різальними елементами з відповідним загострюванням, що виготовляється зазвичай зі швидкорізальної сталі.

Традиційна технологія виготовлення дискового зуборізного довбача включає попереднє та остаточне лезове оброблення його внутрішніх і зовнішніх циліндричних, конічних та торцевих поверхонь, лезове оброблення поверхні зубців, гартування, шліфування торців, шліфування посадкового отвору, шліфування поверхні зубців та їх загострювання по задній і передній поверхнях [1, 2, 3].

Недоліком технології є значна кількість перевстановлювань, внаслідок кожної з яких виникає похибка, яка зменшує точність відносного розташування поверхонь довбача. Гартування довбача після лезового оброблення поверхні зубців призводить до втрати точності форми цієї поверхні і змушує вводити до технологічного процесу додаткові фінішні операції, що є малопродуктивним, потребує затрат на фінішний інструмент і відповідне верстатне забезпечення.

Поставлена задача підвищення продуктивності та зменшення собівартості виготовлення довбача за рахунок спрощення технології оброблення при забезпеченні необхідної якості довбача.

Запропонована інноваційна технологія виготовлення зубчастого довбача, яка складається з наступних операцій: попереднє лезове оброблення внутрішніх поверхонь,

гартування заготовки (рис.1, а), шліфування зовнішніх торців та остаточне оброблення решти поверхонь (посадкового отвору, профілю западин зубців та їх загострювання по задній поверхні) з однієї установки заготовки електроерозійним способом на дрото-вирізному верстаті (рис.1, б-г). При цьому оброблення профілю западин зубців та їх загострювання по задній поверхні здійснюють одним формоутворюючим рухом [4], який ґрунтується на особливостях формоутворення задньої бічної поверхні довбача, а саме: задня поверхня довбача є гвинтовою поверхнею, твірна якої є пряма лінія і, відповідно, теоретично-точно може бути утворена проволочним інструментом на електроерозійному верстаті на відміну від шліфуванням черв'яним інструментом [1, 2], що і покладено в основу запропонованої технології виготовлення довбача.

Оброблення профілю западин зубців та їх загострювання по задній поверхні здійснюють в два етапи – на першому етапі остаточно оброблюють за 1-4 проходи, в залежності від необхідної точності та шорсткості поверхні зубців, від половини до трьох чвертей зубців довбача, а на другому етапі остаточно оброблюють за 1-4 проходи, в залежності від необхідної точності та шорсткості поверхні, решту зубців, причому на кожному з проходів корегують швидкість подачі та формоутворюючу траєкторію.

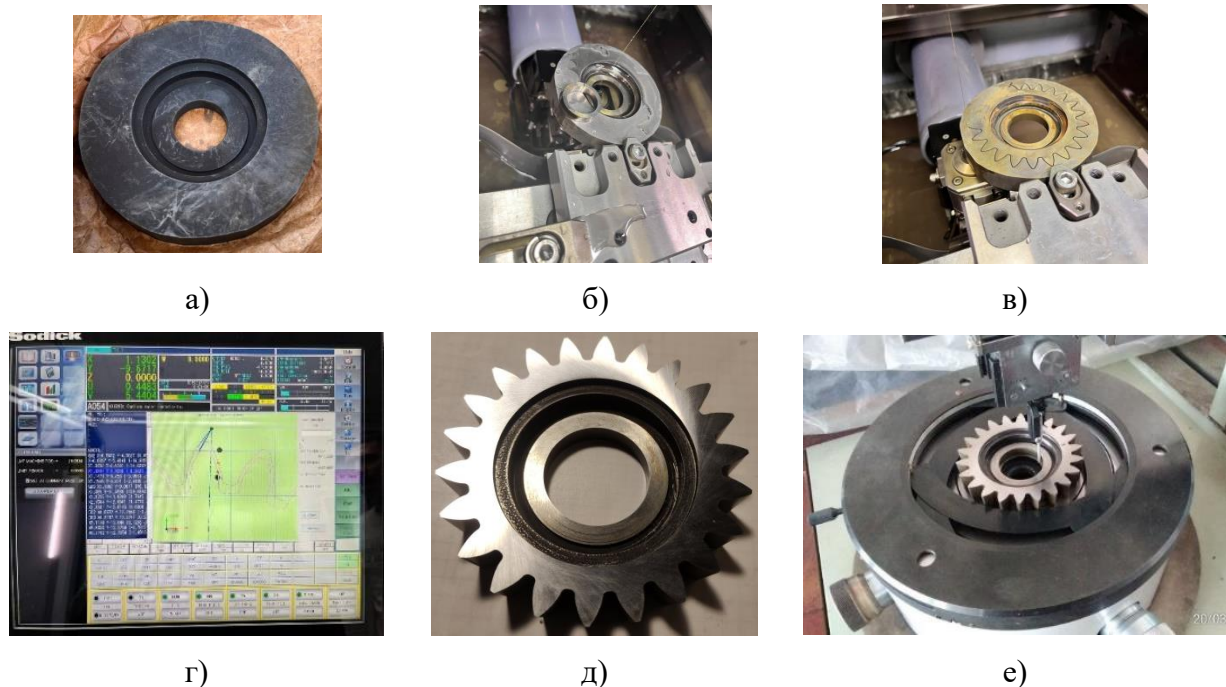


Рис. 1 – Виготовлення дискового довбача: а) заготовка; б) вирізання посадкового отвору; в) вирізання задньої вершинної та бічної поверхні довбача; г) стійка верстата з керуючою програмою; д) виготовлений довбач; е) вимірювання параметрів довбача

Похибка відносного розташування відповідальних поверхонь довбача при використанні цього способу дорівнює нулю.

За запропонованою технологією виготовлено прямозубий дисковий довбач з наступними параметрами: модуль 3,5 мм, кількість зубців – 22, матеріал – сталь Р6М5, решта параметрів та технічних умов – відповідно до ГОСТ 9328-79.

Оброблення посадкового отвору, профілю западин зубців та їх загострювання по задній поверхні здійснювалось на електроерозійному верстаті типу Sodick ALC600G Premium, які поставляється на регулярній основі в Україну і вже є в наявності певний верстатний парк цього обладнання. Виготовлений довбач (рис. 1, д) відповідає всім параметрам для класу точності AA згідно ГОСТ 9328-79. На рис. 1, е, в показано вимірювання відхилення від круглості посадкового отвору.

Використання запропонованої технології зменшує собівартість виготовлення довбача за рахунок зменшення кількості спеціалізованого обладнання, такого, як зубофрезерного, зубошліфувального і круглошліфувального, та підвищує стабільність параметрів довбача.

#### Список посилань

1. Равська Н. С. Технологія інструментального виробництва / Равська Н. С., Мельничук П. П., Касьянов А. Г., Родін Р. П. – Житомир: ЖТТІ, 2001. – 555 с.
2. Скочко С. В. Технологія інструментального виробництва: навчальний посібник для вузів. / С. В. Скочко. – Житомир: ЖІТІ, 1999. – 154 с
3. Булига Ю. В. Основи інструментального виробництва: навчальний посібник / Ю. В. Булига, А. В. Слабкий – Вінниця: ВНТУ, 2018.
4. Охріменко О. А. Застосування edm технологій при виробництві зуборізних довбачів / Охріменко О. А., Ключко О. А., Шуплецов Д. К., Скрипник Т. М. // «КЗТЯПС - 2022» матеріали тез доповідей XII Міжнар. наук.-прак. конф. (м. Чернігів, 26–27 травня 2022 р.) – с. 35-36.
5. Електроерозійний верстат Sodick ALC400/600/800G Premium. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sodick.com.ua/ua/p984555567-elektroerozijnij-verstat-sodick.html>

УДК 539.3

**Бабенко А.Є., докт. техн. наук, професор**  
**Боронко О.О., докт. техн. наук, професор**  
**Трубачев С. І., канд. техн. наук, доцент**  
**Лавренко Я. І., канд. техн. наук, доцент**

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», [strubachev@i.ua](mailto:strubachev@i.ua)

### ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС РОЗРАХУНКУ КОЛИВАНЬ ПЛАСТИНЧАСТО-ОБОЛОНКОВИХ СИСТЕМ

У сучасній промисловості пластинчасто-оболонкові конструкції знайшли широке впровадження, тому розрахунок на міцність таких конструкцій є актуальною задачею. Внаслідок складної геометричної форми пластинчасто-оболонкових систем, умов закріплення та навантаження аналітичні методи розрахунку виявляються не завжди ефективними, тому необхідно застосовувати чисельні методи розрахунку. У процесі експлуатації конструкції, як правило, зазнають інтенсивних вібраційних навантажень, що створює загрозу руйнування елементів машинобудівних конструкцій. Завдяки визначенню динамічних характеристик коливань можна обрати оптимальні параметри конструкції та режими роботи машини віддалені, від критичних режимів, які є небезпечними. Однією з причин руйнації елементів машинобудівних конструкцій є те, що вони попадають у резонанс. У зв'язку з цим необхідно розв'язувати задачу про вимушені коливання. Ця задача може бути розв'язана методом головних координат, але для цього необхідно вирішити задачу вільних коливань, знайти власні частоти та відповідні їм власні форми коливань конструкцій. В даній роботі для визначення спектра власних частот та форм коливань пропонується використовувати метод підвищення жорсткостей, який оснований на використанні мінімакських властивостей функціонала Релея-Рітца. Для визначення першої власної частоти та форми коливань використовувався метод квазістатичних ітерацій, який ґрунтується на заміні розв'язання задачі на власні числа послідовністю розв'язання задач при статичних навантаженнях. Розроблені алгоритми розрахунку є стійкими відносно обчислювальних помилок, які обумовлені точністю обчислювання ЕОМ, та мають наступні переваги: не потребує формування матриць інерції та жорсткості та оперування з ними, потребує мінімальної кількості ітерацій. Для врахування частотно-незалежного тертя використовувалась відповідна гіпотеза Бока-Шліппе-Колара. На основі запропонованого методу було розроблено алгоритми та пакети прикладних програм. З огляду на те, що пакети прикладних програм побудовано за модульним принципом, це дозволяє