

ВИСОКОШВИДКІСНЕ ОБРОБЛЕННЯ У ВИГОТОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ З ВИСОКОМІЦНИХ СТАЛЕЙ

Сичов Ю. І.¹, Вародов К. С.²

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна

Анотація. Основний принцип оброблення високої швидкості полягає в тому, що за дуже високої швидкості різання значно підвищується температура в зоні різання. Завдяки цьому виду оброблення можна досягти значної продуктивності й водночас не втратити якість вихідної продукції.

Ключові слова: сталь, ВШО, КІТ-системи, 3D-проектування, метод кінцевих елементів, режими фрезерування.

Вступ

Розвиток і впровадження новітніх технологій у виробництво завжди є актуальним питанням. Однією з таких технологій є високошвидкісне оброблення. Дослідження фізичних явищ, що супроводжують процес високошвидкісного оброблення, є нагальним завданням сучасного машинобудування.

Аналіз публікацій

Для успішного конкурування на ринку перед підприємствами – виробниками гірничої техніки – постають завдання щодо створення продукції із сталей і сплавів з особливими фізико-механічними властивостями, найважливішими з яких є корозійна стійкість у різних середовищах, жароміцність і висока міцність.

Основний недолік цих сталей – труднощі оброблення на верстаті [1]. Останнім часом широко застосовуються методи швидкісного оброблення, особливо швидкісні фрезерування, де процес різання та подання вп'ятеро-вдесятеро вищі, ніж у разі звичайного оброблення.

Встановлено, що з невеликими ділянками розрізання в умовах оброблення високою швидкістю (ВШО) основна частина тепла зосереджена в стружці, не маючи часу зайти в заготовку [2]. Однак є сфери застосування, де неможливо досягти високої швидкості. Тоді можемо говорити про перехідну зону між високошвидкісним і звичайним фрезеруванням.

Але й тут досягаються наслідки використання високої швидкості оброблення. Дослідження японських експертів продемонстрували, що під час продуктивності ВШО 75 %

виробленого тепла викидається за допомогою стружки, 20 % – через інструмент, а 5 % – через оброблену частину. Деталь у процесі різання нагрівається несуттєво, що позитивно впливає на точність оброблення [3].

Мета й постановка завдання

Метою є підвищення ефективності механічного оброблення деталей із сталей і сплавів з особливими фізико-механічними властивостями, найважливішими з яких є корозійна стійкість у різних середовищах, жароміцність і висока міцність унаслідок застосування методу високошвидкісного фрезерування. Для досягнення поставленої мети необхідно змоделювати віртуальний процес ВШО, який наочно продемонструє, що відбувається в зоні різання. Це дасть змогу надати рекомендації щодо параметрів режимів різання.

Виклад основного матеріалу

Для забезпечення надійних результатів і досягнення максимального ефекту від ВШО необхідно переглянути підходи до дослідження, діагностики й керування процесами оброблення, а також методів підвищення ефективності механічного оброблення. Щодо стратегії оброблення, то насправді це досить прості правила, які технолог має виконувати, зважаючи на програми оброблення та наявність САМ-систем, які підтримують ці правила [4].

Перше правило ВШО полягає в тому, що необхідно забезпечити незначні перетини зрізу, які вилучаються з великою швидкістю. Як зазначалося вище, це основа оброблення високою швидкістю й реалізується простим завданням невеликих кроків між проходами,

за винятком тих випадків різання, коли триває проходження всієї ширини фрези.

Такі випадки мають бути унеможливлені завдяки використанню трохоїдального оброблення, коли фреза рухається під час різання по колу, зрештою здійснюючи врізання. Оптимально, коли сама САМ-система будує трохоїду в місцях, де потрібно виконати врізання.

Ця стратегія також використовується у формуванні канавок, які раніше оброблялися одним рухом фрези того самого діаметра, що й ширина канавки.

У разі, коли ВШО застосовується для оброблення загартованої заготовки з отвором, свердління викликає певні труднощі через низьку стійкість свердел. За цієї умови спіральне розфрезерування отворів може бути ефективним методом.

Крім того, як доводить практика, цей метод оброблення завдяки продуктивності та стійкості інструмента більш результативний, ніж звичайне свердління [5].

Друге правило ВШО – забезпечити гладку траєкторію інструмента. Це впливає з необхідності зменшити динамічні навантаження під час різкої зміни напрямку руху інструмента. Необхідно максимально уникнути кутів на траєкторії (рис. 1).

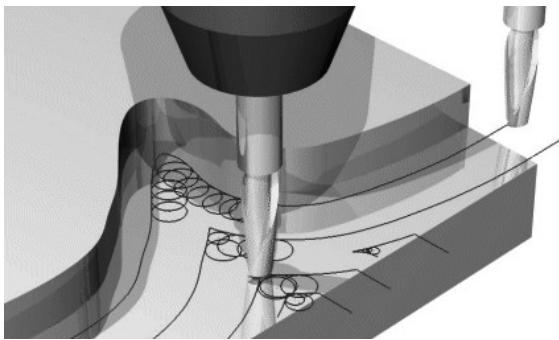


Рис. 1. Схема оброблення

У кутах, де інструмент змінює напрямок, він змушений зупинитися. Однак зменшення навантаження в цей момент спричиняє врізання фрези в тіло деталі, і внаслідок цього сліди залишаються на поверхні.

Третє правило – забезпечити рівномірне навантаження на інструмент. Традиційне стрічне оброблення, що передбачає численні заходи врізання й виходи інструмента, навіть якщо вони зглажені входами по дузі, не може бути визнане оптимальним для ВШО.

Перевага має бути надана стратегіям спіралі, де цей інструмент, колись врізавшись,

зберігає постійний і рівномірний контакт із деталлю або стратегіями рівновіддаленого переміщення контуру, які тривалий час підтримують контакт інструмента із заготовкою з одним заходом та виходом.

Завданням цієї роботи є аналіз технологічності виготовлення деталей «Основа», «Стінка» та вибір режимів різання оброблення марганцевистої сталі DIN Mn16CrS5 за допомогою моделювання в САЕ-системі DEFORM-3D.

Деталі, запропоновані для аналізу, – корпусні пластини, що використовуються в гірничій техніці (рис. 2, 3).

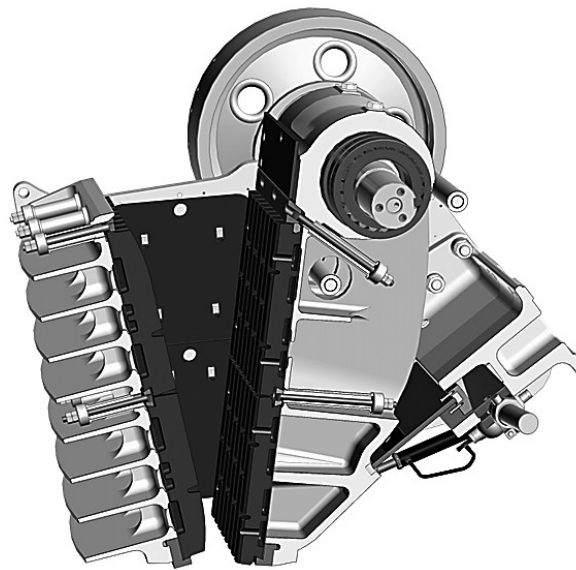


Рис. 2. Щокова дробарка



Рис. 3. Деталі щокової дробарки

Деталі мають отвори з різьбами, фаски, закруглення, пази, товстостінну структуру.

CAD (Computer Aided Design) – система автоматизованого проектування (САПР) –

програмний пакет, призначений для створення креслеників, конструкторської та/або технологічної документації та/або 3D-моделей. Сучасні системи автоматизованого проектування зазвичай використовуються разом із системами автоматизації інженерних розрахунків та аналізу CAE (*Computer Aided Engineering*). Інформація з CAD-систем передається в CAM (*Computer Aided Manufacturing*) – систему автоматизованого розроблення програм оброблення деталей для верстатів із ЧПК [6].

Для розв'язання завдань, поставлених у цій роботі, використовується програмний продукт DEFORM, який дає змогу виконувати інженерні розрахунки як у 2D, так і в 3D. DEFORM пропонує провести моделювання або за допомогою шаблону DEFORM-3D *Machining (Cutting)* або препроцесора. У цій роботі результати моделювалися за допомогою препроцесора [7].

У пакеті DEFORM-3D спрогнозуємо розподіл напружень, деформацій, швидкість деформації, температурні потоки в зоні різання між стружкою та оброблюваною поверхнею з огляду на теплозахист інструмента [8–13].

Умови розрахунку:

- фреза сферична діаметром 8 мм;
- матеріал заготовки – марганцевиста сталь DIN_Mn16CrS5;
- швидкість обертання фрези 20 000 об/хв;
- подання на зуб 0,1 мм.

Окрім епюр, отримано розподіли параметрів у вигляді графіків (рис. 4–6).

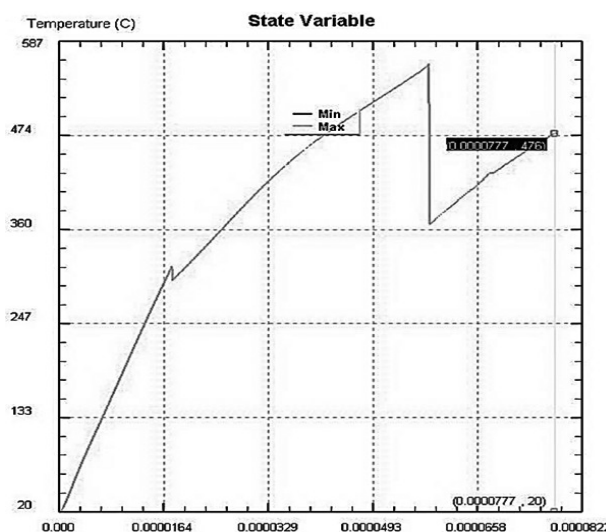


Рис. 4. Графік залежності температури від часу

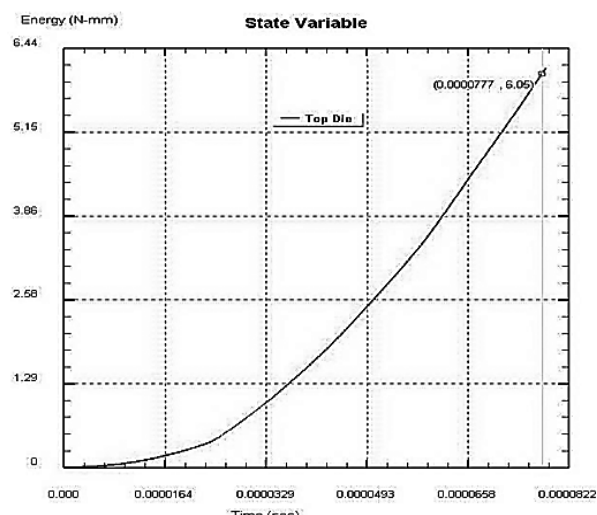


Рис. 5. Графік залежності енергії від часу

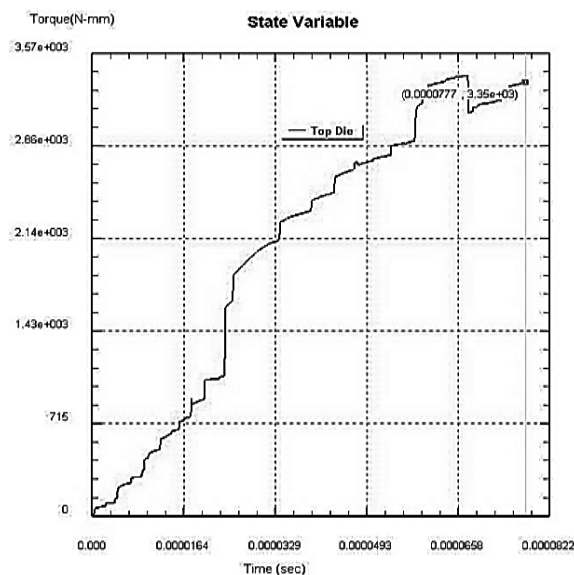


Рис. 6. Графік залежності крутного моменту від часу

Висновки

У статті розглянуто моделювання високошвидкісного фрезерування в DEFORM-3D. Отримано графіки залежностей параметрів (температури, напружень, деформацій, розподілу енергії тощо), які мають імпульсний характер розподілу в часі.

Максимальна температура властива стружці, а поверхня деталі має значно нижчу температуру. Це підтверджує, що за обраних параметрів оброблення дійсно реалізується механізм HSM.

З досягнутих результатів можна зробити висновки, що графік залежності напруження від часу випереджає графік залежності деформації, а графік залежності деформації зі свого боку випереджає графік залежності температури від часу, тобто присутні конку-

рентні хвильові залежності швидкості фронтів деформацій і температури.

Подані в роботі графіки корелюються між собою. Встановлено, що найбільш оптимальні режими різання становлять: подання – 60 мм/с за умови глибини різання 0,2 мм.

Література

- Добрянський С. С., Малафеев Ю. М. Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 379 с.
- Основи теорії різання матеріалів: підручник / М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, В. Л. Доброскок, В. О. Залога та ін.; під заг. ред. М. П. Мазура. 2-ге вид., перероб. і доп. Львів: Новий Світ-2000, 2011. 422 с.
- Степанов А. М. Високошвидкісне фрезерування в сучасному виробництві. *CAD/CAM/CAE Observer*, No. 4 (13), 2003.
- Петраков Ю. В. Перспективи розвитку САМ-систем в машинобудуванні. *Вісник НТУ «КПІ»*. Серія машинобудування. 2013. № 2(68).
- Дубровець Л. В., Ісамов Р. Н. Високошвидкісна обробка і можливості її застосування. *PEDAGOGS international research journal*. 2022. 3(2), 119–124. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6038018>
- The PLM Magazine, analytical edition. Available at: <http://www.cadcamcae.lv/arch.html>
- Design Environment for FORMing. Available at: <https://www.deform.com/products/deform-3d/>
- Solid Carbide Tools. Available at: <https://www.kyocera-sgtool.com/>
- ООО ТД Домен. Available at: <https://tdomen.com.ua/obshhij-katalog-instrumenta-sandvik-coromant/>
- MMC Hartmetall GmbH. Available at: <http://www.mitsubishicarbide.com/mmus/en/product/catalog/index.html>
- Member IMC Group Iscar. Available at: <https://www.iscar.com/index.aspx/countryid/1>
- Kennametal. Available at: <https://www.kennametal.com/en/home.html>
- Haas F1™ Team. Available at: <https://www.haascnc.com/index.html>

References

- Dobryanskyi, S. S., & Malafeev, Yu. M. Technological Foundations of Mechanical Engineering [Electronic resource]: Textbook for students of specialties 131 “Applied Mechanics” and 133 “Industrial Engineering.” Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2020. 379 p.
- Mazur, M. P., Vnukov, Yu. M., Dobroskok, V. L., Zaloha, V. O., et al. Fundamentals of the Theory of Material Cutting: Textbook / under the general editorship of M. P. Mazur. 2nd ed., revised and

supplemented. Lviv: Novyi Svit-2000, 2011. 422 p.

- Stepanov, A. M. High-Speed Milling in Modern Production. *CAD/CAM/CAE Observer*, No. 4 (13), 2003.
- Petrakov, Yu. V. Prospects for the Development of CAM Systems in Mechanical Engineering. *Bulletin of NTUU “KPI”. Series: Mechanical Engineering*, No. 2 (68), 2013.
- Dubrovets, L. V., & Isamov, R. N. (2022). High-Speed Machining and Its Application Possibilities. *PEDAGOGS International Research Journal*, 3(2), 119–124. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6038018>
- The PLM Magazine, analytical edition. Available at: <http://www.cadcamcae.lv/arch.html>
- Design Environment for FORMing. Available at: <https://www.deform.com/products/deform-3d/>
- Solid Carbide Tools. Available at: <https://www.kyocera-sgtool.com/>
- LLC TD Domen. Available at: <https://tdomen.com.ua/obshhij-katalog-instrumenta-sandvik-coromant/>
- MMC Hartmetall GmbH. Available at: <http://www.mitsubishicarbide.com/mmus/en/product/catalog/index.html>
- Member IMC Group Iscar. Available at: <https://www.iscar.com/index.aspx/countryid/1>
- Kennametal. Available at: <https://www.kennametal.com/en/home.html>
- Haas F1™ Team. Available at: <https://www.haascnc.com/index.html>

Сичов Юрій Іванович¹, канд. техн. наук, доцент кафедри технології металів та матеріалознавства ім. О. М. Петриченка, тел. +380502410937, shanhaj.2007@gmail.com.

Вародов Кирило Сергійович², аспірант кафедри машинобудування, транспорту і зварювання, тел. +380999320893, kyrylo.varodov@karazin.ua.

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

²Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, майдан Свободи 4, м. Харків, Україна, 61022.

Improving the efficiency of the mechanical processing of parts on machine tools

Abstract. Problem. The increasing requirements for the accuracy of the dimensions and shape of parts made of steels and alloys with special physical and mechanical properties, the most important of which are corrosion resistance in various environments, heat resistance, and high strength, have necessitated a new approach to machining. The primary disadvantage of these steels is the difficulty in machining

them on a machine tool. In recent years, high-speed machining methods have been widely used, especially high-speed milling, where cutting and feed rates are 5–10 times higher than in conventional machining. However, there are areas of application where it is impossible to achieve high speeds. Then we can talk about the transition zone between high-speed and conventional milling. But here too, the effects of using high machining speeds are achieved. The part is not heated significantly during the cutting process, which has a positive effect on the machining accuracy. **Goal.** Increasing the efficiency of machine parts made of steel and alloys with special physical and mechanical properties. **Methodology.** The process of modeling high-speed milling in DEFORM-3D is considered. The simulated virtual process of the VSH showed what is happening in the cutting zone. This enables the provision of recommendations on the parameters of cutting modes. **Results.** Graphs of dependencies of parameters (temperature, stresses, deformations, energy distribution, etc.) were obtained, which have a pulsed nature of distribution in time. The maximum temperature is present on the chip, and the surface of the part has a much lower temperature. This confirms that with the selected processing parameters, the HSM mechanism is really implemented. **Originality.** According to the results of the study, it can be concluded that the graph of the

dependence of stress on time is ahead of the graph of the dependence of deformation, and the graph of the dependence of deformation in turn is ahead of the graph of the dependence of temperature on time, i.e. there are competing wave dependences of the velocity of deformation fronts and temperature. **Practical value.** It was found that the most optimal cutting modes are feed – 60 mm/s at a cutting depth of 0.2 mm.

Keywords: Steel, HSM, KIT systems, 3D design, finite element method, milling modes.

Sychov Yrij¹, PhD, Associate Professor, Department of Metal Technology and Materials Science named after O. M. Petrychenko,

ORCID: [0000-0002-6576-8083](https://orcid.org/0000-0002-6576-8083),

shanhaj.2007@gmail.com,

Varodov Kyrylo², Graduate student, Department of Mechanical Engineering, Transport and Welding,

ORCID: [0009-0007-8621-6337](https://orcid.org/0009-0007-8621-6337),

kyrylo.varodov@karazin.ua.

¹Kharkiv National Automobile and Highway University, 25 Yaroslav Mudryi Street, Kharkiv, 61002, Ukraine.

²V. N. Karazin Kharkiv National University Educational and Scientific Institute Ukrainian Engineering Pedagogics Academy Address University: Svobody sq., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine.