

УДК 621.9

DOI 10.36910/775.24153966.2022.73.3

Г. В. Алексієнко

спеціаліст в галузі «Механічна інженерія» за напрямом підготовки «Обладнання переробних і харчових виробництв», інженер-технолог, Харківський державний університет харчування та торгівлі

*ТОВ НВФ «Вест Лабс ЛТД», Україна, місто Харків, вулиця Катерининська 46,
<https://orcid.org/0000-0002-0757-757X>*

ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНОГО ІНСТРУМЕНТУ ЯК МЕТОД СКОРОЧЕННЯ ЧАСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

У статті розкрито принципи використання високопродуктивного інструменту як методу скорочення часу виготовлення деталей на верстатах з числовим програмним управлінням. Зазначено, що технологія високошвидкісного різання з використанням принципів модифікації, оптимізації та заміни або комбінації етапів обробки може підвищити ефективність використання енергії та ресурсів у загальному технологічному процесі, головним чином, скорочуючи час на виробництво. Запропоновано застосовуючи технологію високошвидкісного різання на базі високопродуктивного інструменту відмовитися від попередньої обробки, і одразу виготовляти деталі остаточно у загартованому вигляді. Сформовано модифікований ланцюг технологічного виробництва з використанням високопродуктивного інструменту як методу скорочення часу виготовлення деталей на верстатах з ЧПУ. У якості варіантів використання обрано два цикли виробництва: цикл виготовлення партії деталей з обов'язковим послідовним виконанням операцій та цикл виготовлення партії деталей з використанням технології високошвидкісного різання на базі високопродуктивного інструменту. Проаналізовано час роботи кожної лінії на партії деталей від 1 до 150 шт., з кроком 25 штук. Визначено показники відношення часу виготовлення деталей в залежності від обсягу партії деталей, що виготовляється, враховуючи показники виконання циклу виготовлення партії деталей з використанням технології високошвидкісного різання на базі високопродуктивного інструменту та часу витраченого на реалізацію циклу виготовлення партії деталей з обов'язковим послідовним виконанням операцій. Підкреслено, що застосування технології високошвидкісного різання є вигідним в умовах виробництва, що є часто переналагоджуваним, враховуючи повною мірою час витрачений на відлагодження процесу виготовлення деталі остаточно у загартованому вигляді. Доведено, що при реалізації циклу виготовлення партії деталей з обов'язковим послідовним виконанням операцій значення екстенсивного використання обладнання прагне до граничного значення, що залежить від витрат часу на реалізацію попередньої обробки заготовок та витрати на між операційне пролежування деталі, ці види витрат часу в умовах реального виробництва повністю усунути неможливо.

Ключові слова: високопродуктивний інструмент, час, виготовлення, деталь, верстат, числове програмне управління.

Г.В. Алексієнко

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА КАК МЕТОД СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

В статье раскрыты принципы использования высокопроизводительного инструмента как метода сокращения времени изготовления деталей на станках с числовым программным управлением. Указано, что технология высокоскоростной резки с использованием принципов модификации, оптимизации и замены или комбинации этапов обработки может повысить эффективность использования энергии и ресурсов в общем технологическом процессе, главным образом сокращая время на производство. Предложено применять технологию высокоскоростной резки на базе высокопроизводительного инструмента отказаться от предварительной обработки, и сразу производить детали до конца в закаленном виде. Сформирована модифицированная цепь технологического производства с использованием высокопроизводительного инструмента как метода сокращения времени изготовления деталей на станках с ЧПУ. В качестве вариантов использования выбраны два цикла производства: цикл изготовления партии деталей с обязательным последовательным выполнением операций и цикл изготовления партии деталей с использованием технологии высокоскоростной резки на базе высокопроизводительного инструмента. Проанализировано время работы каждой линии на партии деталей от 1 до 150 штук, с шагом 25 штук. Определены показатели отношения времени изготовления деталей в зависимости от объема изготавливаемой партии деталей, учитывая показатели выполнения цикла изготовления партии деталей с использованием технологии высокоскоростной резки на базе высокопроизводительного инструмента и времени потраченного на реализацию цикла изготовления партии деталей с обязательным последовательным выполнением операций. Подчеркнуто, что применение технологии высокоскоростной резки является выгодным в условиях производства, часто переналаживаемым, учитывая в полной мере время затраченное на отладку процесса изготовления детали окончательно в закаленном виде. Доказано, что при реализации цикла изготовления партии деталей с обязательным последовательным выполнением операций значение экстенсивного использования оборудования стремится к предельному значению, зависящему от затрат времени на реализацию предварительной обработки заготовок и расхода на межоперационное пролеживание детали, эти виды затрат времени в условиях реального производства полностью устранить невозможно.

Ключевые слова: высокопроизводительный инструмент, время, изготовление, деталь, станок, числовое программное управление.

H. Aleksienko

THE USE OF HIGH-PERFORMANCE TOOLS AS A METHOD OF REDUCING THE TIME OF MANUFACTURING PARTS ON CNC MACHINES

The article reveals the principles of using a high-performance tool as a method of reducing the time of manufacturing parts on machines with numerical program control. It is noted that high-speed cutting technology using modification, optimization and replacement principles or a combination of processing steps can increase energy and resource efficiency in the overall process, mainly by reducing production time. It is proposed to abandon pre-processing using high-speed cutting technology based on high-performance tools, and immediately make the parts finally hardened. A modified chain of technological production has been formed using a high-performance tool as a method of reducing the time of manufacturing parts on CNC machines. Two production cycles were selected: the batch production cycle with mandatory sequential operations and the batch production cycle using high-speed cutting technology based on a high-performance tool. The operating time of each line on a batch of parts from 1 to 150 pieces, with a step of 25 pieces is analyzed. The ratio of the time of production of parts depending on the volume of the batch of parts produced, taking into account the performance of the cycle of production of the batch of parts using high-speed cutting technology based on high-performance tools and time spent on the production cycle of parts with mandatory sequential operations. It is emphasized that the use of high-speed cutting technology is advantageous in terms of production, which is often reconfigurable, given the full time spent on debugging the manufacturing process of the part finally hardened. It is proved that in the implementation of the cycle of manufacturing a batch of parts with mandatory sequential operations, the value of extensive use of equipment tends to the limit value, which depends on the time spent on pre-workpiece and production cannot be completely eliminated.

Key words: high-performance tool, time, manufacturing, part, machine, numerical program control.

Вступ та постановка завдання. Сучасні верстати з числовим програмним управлінням (ЧПУ) є популярним механізмом обробки металів. Проте враховуючи високу вартість одного часу роботи таких верстатів, на базі їх конфігурації необхідно використовувати інструменти, що забезпечують високу продуктивність праці, скорочуючи час використання останніх. Інтенсифікація режимів обробки за інших рівних умов порівняно з роботою на універсальному устаткуванні може бути забезпечена за рахунок застосування економічних періодів стійкості та сучасних інструментальних матеріалів. Говорячи про фізичну сторону процесу, доцільність застосування економічних періодів стійкості впливає з основного рівняння теорії різання металів [1]:

$$P_1^n V_1 = P_2^n V_2 = const,$$

де P – періоди стійкості, що програмуються;

V – швидкість різання, яка є розрахунковою величиною;

n – показник відносної стійкості.

Як видно з рівняння, швидкість різання залежить, у першу чергу, від виду матеріалу, що обробляється, тобто чим твердіший метал, тим довший час його обробки. Проте варто зауважити, що з економічної складової, чим менше час обробки тим менша технологічна вартість кінцевої деталі.

Основні переваги високошвидкісної обробки полягають не у скороченні машинного часу, а у підвищенні якості поверхні та можливості обробки матеріалів з високою твердістю, наприклад, високошвидкісна обробка металів, загартованих сталей.

У зв'язку з розвитком порошкової металургії і, як наслідок, значного підвищення ріжучої здатності металообробного інструменту доцільно в сучасних умовах обробляти попередньо загартований матеріал.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Публікації стосовно застосування використання високопродуктивного інструменту як методу скорочення часу виготовлення деталей на верстатах з ЧПУ є популярним напрямком досліджень на протязі останніх 20-ти років.

Наукові основи забезпечення параметрів якості робочих поверхонь деталей машин у вигляді тіл обертання дослідив В.О. Дзюра [2]. Автором на основі отриманих нових науково обґрунтованих результатів вирішено актуальну для технології машинобудування науковоприкладну проблему комплексного забезпечення параметрів якості робочих поверхонь деталей класу «тіла обертання» з урахуванням умов експлуатації шляхом оптимізації структури технологічних процесів за параметрами якості та забезпеченні прогресивних режимів обробки з допомогою статистичних методів оцінювання.

Я.П. Коваленко та П.П. Мельничук [3] дослідили принципи підвищення ефективності обробки отворів на багатоцільових верстатах. Науковці зазначили, що важливим етапом у проектуванні ефективного процесу обробки деталі є вибір допоміжного інструменту. На

багатоцільових верстатах свердлильно-фрезерно-розточувальної групи не використовуються допоміжні інструменти, які здійснюють додаткове спрямування осевого різального інструменту під час обробки, не в повній мірі використовуються також допоміжні інструменти для багаторізевого розточування отворів, тоді як їх застосування дозволить скоротити число технологічних переходів і різальних інструментів, підвищити продуктивність та якість обробки.

О. Литвиненко, Ю. Бойко та В. Яновський [4] розглянули механізми використання CAD-CAM технологій для проектування та виготовлення деталей на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК). Ці технології дозволяють проектувати технологічні маршрути обробки поверхонь деталей різної складності та виготовляти їх на сучасних оброблюючих центрах з ЧПК, а їх використання в умовах малосерійного, одичного виробництва виправдане та економічно раціональне.

Стаття [5] присвячена питанням аналізу взаємозв'язку проектування деталей в CAD/CAM-системі та їх виготовлення на фрезерних верстатах з ЧПУ. Розглянуто причини виникнення похибок виготовлення деталей на фрезерних верстатах з ЧПУ та шляхи їх усунення не тільки в процесі самого фрезерування деталі на виробничому обладнанні, а і на етапах проектування конструкції, розробки управляючих програм (УП) для оброблювального центру та розрахунку режимів різання та їх взаємозв'язок.

Оцінка впливу режимів різання на вібрацію розточувального різця і точність оброблюваних отворів на верстатах з ЧПК досліджена на сторінках роботи [6].

Із зарубіжних авторів варто відзначити такі роботи як: Collette, Michael & Corey, Bob & Johnson, John & Livermore, Lawrence [7], Luhn, R. & Sandig, S. & Maul, T. & Geiss, Paul & Gramsch-Kempkes, Sascha [8], Yinsheng, Wan [9], Long, Haifei [10], Sychuk, V. & Zabolotnyi, Oleg & Harchuk, P. & Somov, Dmytro & Slabkyi, Andriy & Omiotek, Zbigniew & Rakhmetullina, S. & Yusupova, G. [11], Та, Thi-Na & Hwang, Yunn-Lin & Horng, Jeng-Haur [12], Şahin, Yusuf & Aydemir, Erdal [13], Rafai, Noor & Kamdani, Kamaruddin & Ibrahim, Mohd & Rahim, E. & Sazali, M. & Wong, C. & Chong, Y. [14] та інші.

Проте, враховуючи описані наукові набутки, за темою, питання розкриття механізмів використання високопродуктивного інструменту як методу скорочення часу виготовлення деталей на верстатах з ЧПУ залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Постановка завдання. Розкрити принципи використання високопродуктивного інструменту як методу скорочення часу виготовлення деталей на верстатах з ЧПУ.

Викладення основного матеріалу дослідження. На сьогодні, технологія високошвидкісної різки є найбільш перспективним підходом до підвищення ефективності та точності процесів різки металів. Основні проблеми, в галузі різання металу, полягають у розробці та застосуванні інноваційних стратегій, спрямованих, по-перше, на скорочення часу циклу та витрат для кращої продуктивності, більшої прибутковості, вищої енергоефективності та ресурсної ефективності, а також для підвищення продуктивності та зменшення викидів. Наприклад, при обробці легких матеріалів або високотемпературних сплавів використання високошвидкісної обробки і високоефективного різання часто обмежується потужністю машини або зносом інструменту та оброблюваністю заготовки. Загалом, використання високої швидкості може призвести до зменшення сили різання, потужності та енергії, що, у свою чергу, матиме позитивний вплив на конструкцію інструменту та машини. Крім того, існує потенціал для реалізації компонентів вищої якості (наприклад, покращення якості поверхні та високої точності за рахунок зменшеного введення тепла в компонент). Більша подача та глибина різання вимагають більших зусиль і потужності, хоча вони можуть зменшити час різання, вартість та енергію. Високошвидкісна обробка, враховуючи сучасні наукові набутки, більш підходить до алюмінієвих сплавів, вуглецевих сталей та інших традиційних матеріалів та за рахунок використання дозволяє досягти значного зниження витрат та покращення якості поверхні. Однак існують деякі сплави, що особливо важко обробляються, такі як загартовані сталі, що використовуються для штампів і форм, хромокобальтові сплави, що використовуються для протезів, і сплави на основі нікелю, а також високолеговані сталі, що використовуються у газових турбінах. У цих випадках технології високошвидкісного різання стикаються із серйозними труднощами.

Загально відомим фактом є процес обробки деталей на верстатах з ЧПУ, де кожна деталь проходить три основні етапи обробки:

- 1) попередня обробка з припусками,
- 2) термообробка,
- 3) остаточна обробка.

Проходження усіх означених етапів підвищує час виробничого циклу, що є економічно не вигідним фактом. Технологія високошвидкісного різання з використанням принципів модифікації, оптимізації та заміни або комбінації етапів обробки можуть підвищити ефективність використання енергії та ресурсів у загальному технологічному процесі, головним чином, скорочуючи час на виробництво. Застосовуючи технологію високошвидкісного різання на базі високопродуктивного інструменту відмовляємося від попередньої обробки, і одразу виготовляємо деталі остаточно у загартованому вигляді. Також є можливість видалити етап термічної обробки та використання твердого різання замість шліфування. Ще, як варіант, використання товстошарових покриттів і подальше тверде фрезерування з оптимальними умовами обробки. На рисунку 1 наведено модифікований ланцюг технологічного виробництва з використанням високопродуктивного інструменту як методу скорочення часу виготовлення деталей на верстатах з ЧПУ.

У якості варіантів використання обираємо два цикли:

- 1) Цикл виготовлення партії деталей з обов'язковим послідовним виконанням операцій;
- 2) Цикл виготовлення партії деталей з використанням технології високошвидкісного різання на базі високопродуктивного інструменту.

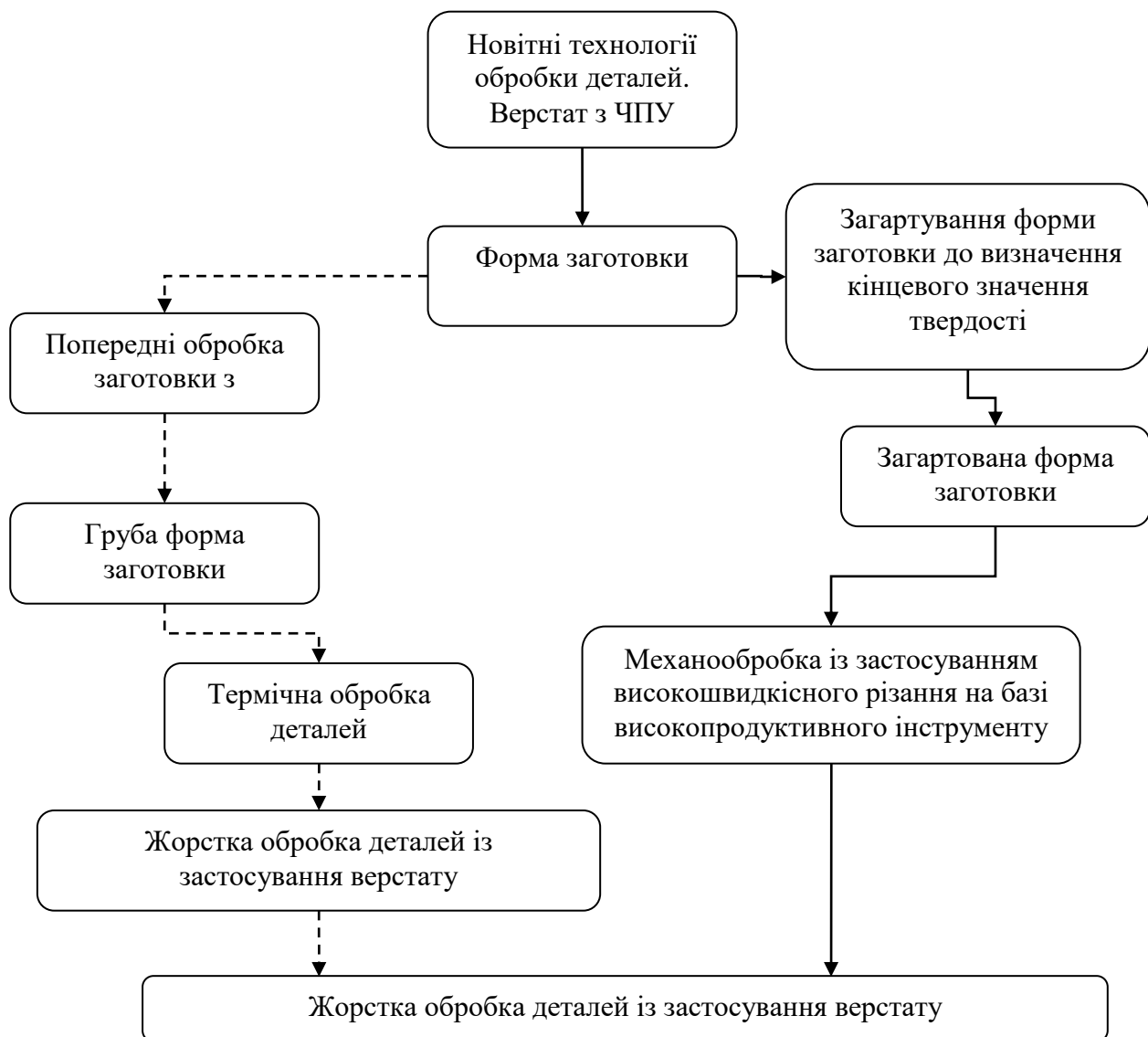


Рис. 1. Модифікований ланцюг технологічного виробництва з використанням високопродуктивного інструменту як методу скорочення часу виготовлення деталей на верстатах з ЧПУ

Кожен із запропонованих циклів має у своєму складі низку операцій, здійснення кожної з них вимагає певного налаштування у залежності від партійності виробництва (одиничне, серійне). Обладнання, яке входить у склад всієї лінії характеризується деякими особливостями:

- лінія виробництва з верстатами з ЧПУ налагоджується окремо в залежності від серійності виробництва;
- матеріали паралельно кожної позиції обробки передаються одинично;
- налаштування лінії на поточне виконання виконує група наладчиків, робота ведеться послідовно, під час здійснення налагодження вся лінія не працює.

У рамках даної роботи припустимо, що необхідний обсяг обробки розподілено між послідовними позиціями рівномірно, час налаштування окремої операції однаковий.

Час обробки деталей на верстатах з ЧПУ за обома циклами складатиметься з:

- а) часу налагодження;
- б) часу проходження першої деталі у всіх позиціях;
- в) сумарного часу перебування на лімітуючій позиції інших деталей партії (якщо партія складається з N деталей, вважається час перебування на лімітуючій позиції N-1 деталей).

Партія деталей, що підлягає обробці варіюється від 1 до 150 шт., з кроком 25 штук.

Загальні значення основних показників етапів проходження по лінії наведено у таблиці 1.

Табл. 1.

Значення основних показників етапів проходження по лініях відповідно до циклу виготовлення партії деталей

№	Назва показника	Цикл виготовлення партії деталей з обов'язковим послідовним виконанням операцій	Цикл виготовлення партії деталей з використанням технології високошвидкісного різання на базі високопродуктивного інструменту
1	Рівень прогресивності обладнання	0,8	1
2	Відношення пропорційності виготовлення деталі між загальним часом виготовлення та часом циклу роботи на верстаті	1,1	1,5
3	Відношення пропорційності виготовлення деталі між часом первинної підготовки та часом циклу роботи на верстаті	45	15
4	Відношення часу використання до часу налагодження обладнання	0,5	1,8
5	Відношення часу між циклом виготовлення партії деталей на верстаті та часом між операційною простою	0,2	0
6	Час налагодження лінії, хв.	30	15

Результати показників відношення часу виготовлення деталей в залежності від обсягу партії деталей, що виготовляється, враховуючи показники виконання циклу виготовлення партії деталей з використанням технології високошвидкісного різання на базі високопродуктивного інструменту та часу витраченого на реалізацію циклу виготовлення партії деталей з обов'язковим послідовним виконанням операцій наведено на рисунку 2.

На рисунку 2 чітко просліджується, що час витрачений на реалізацію циклу виготовлення партії деталей з використанням технології високошвидкісного різання на базі високопродуктивного інструменту значно скорочується у порівнянні з часом витраченим на реалізацію циклу виготовлення партії деталей з обов'язковим послідовним виконанням операцій за умови, що розмір партії не перевищує 25 шт. деталей.

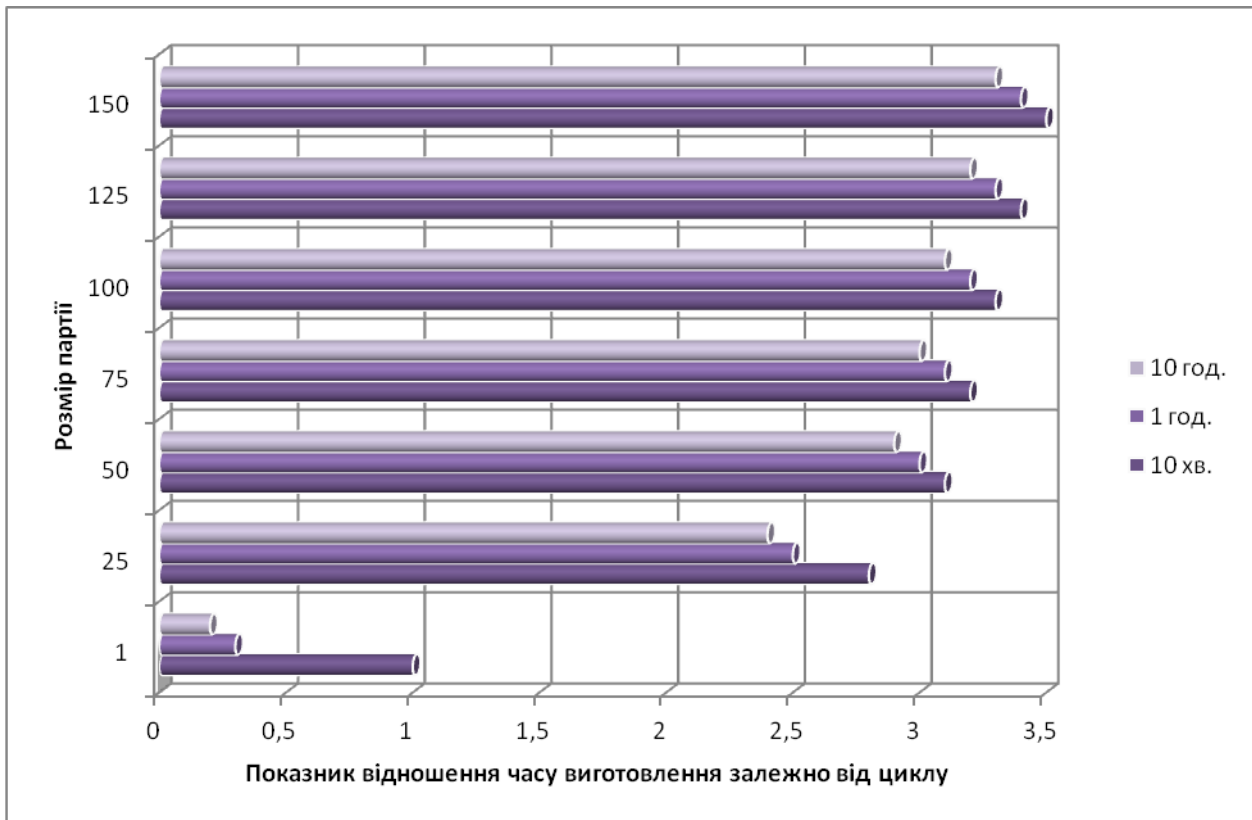


Рис. 2. Діаграма відношення часу виготовлення деталей у залежності від обсягу партії деталей, що виготовляється, враховуючи досліджувані цикли

Таким чином, є можливість стверджувати, що застосування технології високошвидкісного різання на базі високопродуктивного інструменту є вигідним в умовах виробництва, що є часто переналаджуваним, враховуючи повною мірою час витрачений на відлагодження процесу виготовлення деталі остаточно у загартованому вигляді.



Рис. 3. Діаграма відношення екстенсивного використання обладнання в залежності від обсягу партії деталей, що виготовляється, при застосуванні циклу виготовлення партії деталей з використанням технології високошвидкісного різання на базі високопродуктивного інструменту

Обов'язковим є знаходження відношення екстенсивного використання обладнання, даний показник вираховується, як відношення суми часу оперативної роботи лінії до часу виготовлення окремої партії деталей. Отримані дані наведено на рисунку 3.

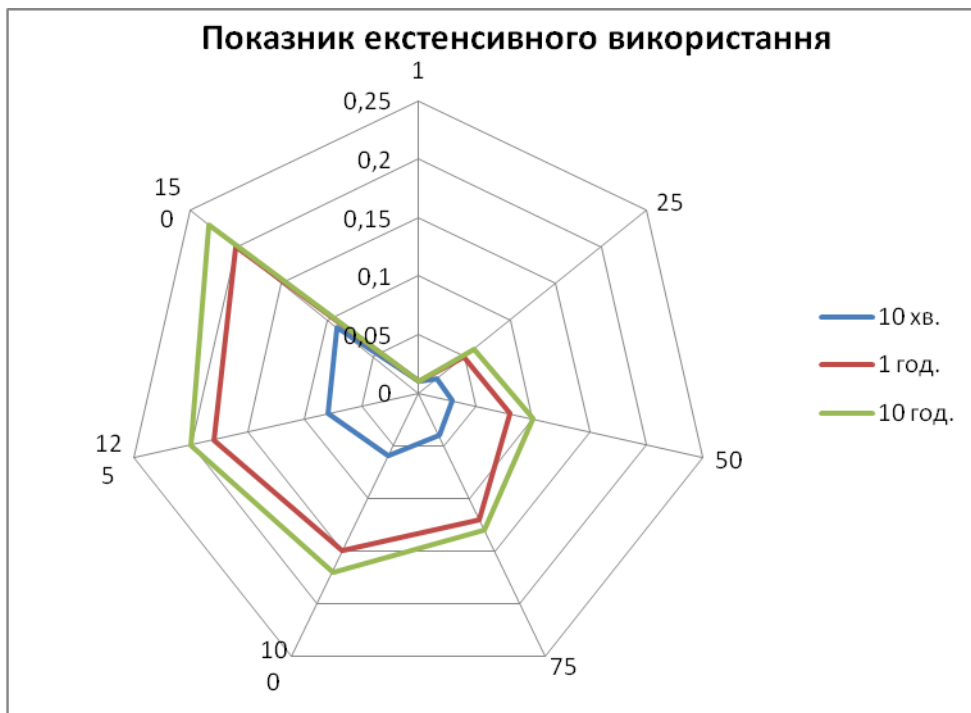


Рис. 4. Діаграма відношення екстенсивного використання обладнання в залежності від обсягу партії деталей, що виготовляється, при застосуванні циклу виготовлення партії деталей з обов'язковим послідовним виконанням операцій

Відповідно до отриманих результатів, при реалізації циклу виготовлення партії деталей з використанням технології високошвидкісного різання на базі високопродуктивного інструменту загальний час екстенсивного використання обладнання не залежить від загального часу витраченого на виготовлення партії деталей. Проте при реалізації циклу виготовлення партії деталей з обов'язковим послідовним виконанням операцій дана залежність існує, що ілюструє рисунок 4.

Значення екстенсивного використання обладнання при реалізації циклу виготовлення партії деталей з використанням технології високошвидкісного різання на базі високопродуктивного інструменту наближається до значення 0,75 при розмірі партії 150 штук деталей, а при реалізації циклу виготовлення партії деталей з обов'язковим послідовним виконанням операцій значення екстенсивного використання обладнання прагне до граничного значення, що залежить від витрат часу на реалізацію попередньої обробки заготовок та витрати на між операційне пролежування деталі. Ці види витрат часу при реалізації циклу виготовлення партії деталей з обов'язковим послідовним виконанням операцій в умовах реального виробництва повністю усунути неможливо.

Висновки. У роботі розкрито принципи використання високопродуктивного інструменту як методу скорочення часу виготовлення деталей на верстатах з ЧПУ. Використання високопродуктивного інструменту дозволяє перепланувати та пришвидшити процес виробництва за рахунок скорочення епізодів обробки. Технологія високошвидкісного різання забезпечує отримання точності розмірів порядку 0,02 мм, до того ж після механічної обробки закаленої заготовки значно підвищується довговічність матриць та пуасонів. Скорочення стадій загального процесу виготовлення деталей на верстатах з ЧПУ дає суттєву економію часу у порівнянні з традиційним способом, у рамках 30-50 %.

Перспективами подальших досліджень є модернізація лінії обробки отворів складної форми із застосуванням керованої розточувальної системи за для скорочення трудомісткості виготовлення деталі.

Список літератури

1. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів : підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосолов, Ф.Я. Якубов ; під заг. ред. М.П. Мазура. – 2-е вид. перероб. і доп. – Львів : Новий світ-2000, 2011. – 422 с.
2. Дзюра В.О. Наукові основи забезпечення параметрів якості робочих поверхонь деталей машин у вигляді тіл обертання. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – «Технологія машинобудування» (з технічних наук). – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2021. 413 с.
3. Підвищення ефективності обробки отворів на багатоцільових верстатах / Я.П. Коваленко П.П. Мельничук // Збірник наукових праць X Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Процеси механічної обробки, верстати та інструмент», 6–9 листопада 2019 року. Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2019. – <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/11/125.pdf>
4. Литвиненко О., Бойко Ю., Яновський В. CAD-CAM технології проектування та виготовлення деталей на верстатах з ЧПК. Технічна інженерія. 2020. С. 15-22.
5. Юшков А. Деякі аспекти проектування деталей та розробки управляючої програми в CAD/CAM-системі, що впливають на сумарну похибку виготовлення виробу на фрезерному верстаті з ЧПУ. Комп'ютерно-інтегровані технології освіта, наука, виробництво, 2021. (43), 164-170. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-27>.
6. Бойко, Ю. І., Литвиненко, О. А., Яновський, В. А. Оцінка впливу режимів різання на вібрацію розточувального різця і точність оброблених отворів на верстатах з ЧПК. Технічна інженерія, 2020, (2(86)), 34–40. [https://doi.org/10.26642/ten-2020-2\(86\)-34-40](https://doi.org/10.26642/ten-2020-2(86)-34-40).
7. Collette, Michael & Corey, Bob & Johnson, John & Livermore, Lawrence. (2022). High Performance Tools & Technologies. Department of Computer Science and Engineering, SJB Institute of Technology (VTU) BGS Health & Education City, Kengeri, Bangalore-60, India
8. Luhn, R. & Sandig, S. & Maul, T. & Geiss, Paul & Gramsch-Kempkes, Sascha. (2012). Production of high-performance tools: Bonded hard material cutting. 40-45.
9. Yinsheng, Wan. (2019). Influence of CNC Tools on CNC Machining Technology. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 569. 032043. 10.1088/1757-899X/569/3/032043.
10. Long, Haifei. (2021). Adaptive control of cutting temperature for CNC machine tool. 51-55. 10.1109/ICSCDE54196.2021.00021.
11. Sychuk, V. & Zabolotnyi, Oleg & Harchuk, P. & Somov, Dmytro & Slabkyi, Andriy & Omiotek, Zbigniew & Rakhmetullina, S. & Yusupova, G.. (2021). Practices of modernization of metal-cutting machine tool CNC systems. 10.1201/9781003225447-22.
12. Ta, Thi-Na & Hwang, Yunn-Lin & Horng, Jeng-Haur. (2021). A Multidisciplinary Approach for Optimization Design of CNC Machine Tools. International Journal of Computational Methods. 18. 10.1142/S0219876221500286.
13. Şahin, Yusuf & Aydemir, Erdal. (2021). A Comprehensive Solution Approach for CNC Machine Tool Selection Problem. Informatica. 1-28. 10.15388/21-INFOR461.
14. Rafai, Noor & Kamdani, Kamaruddin & Ibrahim, Mohd & Rahim, E. & Sazali, M. & Wong, C. & Chong, Y.. (2021). Experimental Study on the Performance of the New Milling Tools When Machining Pre-hardened Material. 10.1007/978-981-15-9505-9_20.