

© В.А. Дербаба¹, В.У. Григоренко¹, В.М. Рубан¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

РОЗВИТОК ЕЛЕМЕНТІВ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРОГРАМУВАННЯ У СКЛАДОВИХ НАСКРІЗНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ВИГОТОВЛЕННЯ МЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ В МАШИНОБУДУВАННІ

©V. Derbaba¹, V. Grigorenko¹, V. Ruban¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

DEVELOPMENT OF ELEMENTS OF COMPUTER PROGRAMMING IN COMPONENT CROSS TECHNOLOGIES OF MANUFACTURING MECHANICAL EQUIPMENT IN ENGINEERING

Мета. Розвиток елементів програмування на обладнанні з числовим програмним керуванням у наскрізних технологіях виготовлення механічного обладнання у машинобудуванні.

Методика. Представляє собою аналіз науково-технічної інформації з «цифровізації» у розробках та питаннях розвитку наскрізних технологій виготовлення механічного обладнання у машинобудуванні та синтез задач і розробки.

Результати. Показано, що загально прийнята технологія виробництва металічних деталей та відповідно вузлів агрегатів та машин у машинобудування складається з основних послідовних технологічних операцій: різка заготовок прокату; кування або штампування готових деталей чи поковок та штамповок під наступну механічну обробку різанням; лиття готових деталей чи литих заготовок під обробку; обробка поковок чи штамповок та виливок різанням; при необхідності термообробка деталей; при необхідності покриття деталей; монтаж вузлів та машин. Приведені приклади по кожній складовій технології показали на широке застосування продуктів числового програмного керування.

Розроблено модель складових у «цифровізації» технологій виготовлення механічного обладнання та модель основних складових наскрізної технології виготовлення металічних деталей машинобудування і елементів «цифровізації».

Обґрунтовано актуальність розробок з згладжування стиків ліній, що описують форми деталей виробів. Запропоновано ширше застосовувати можливості ліній Безьє.

Наукова новизна. Елементи наукової новизни є у створеній моделі «цифровізації» складових наскрізних технологій виготовлення механічного обладнання у машинобудуванні та у постановочному питаннях застосування ліній Безьє зі згладжуванням стиків ліній переміщення інструменту при розробці технологічних процесів.

Практична значимість. Результати статті можуть бути використані на етапі складання конструкторської та технологічної документації для технології виготовлення деталей машинобудівної галузі.

Ключові слова: технології машинобудування, механічне обладнання, числове програмне керування, програмні продукти, САД-САМ системи, тривимірні моделі, лінії Безьє.

Вступ. Час вимагає суттєвого збільшення швидкості та зменшення витрат праці з розробок технологій виготовлення різноманітних деталей та монтажу вузлів, агрегатів та механічного обладнання машин [1–3]. Існує також задача

суттєвого підвищення точності та зменшення розкиду відхилень від нормованих показників геометричних параметрів деталей.

Виконання таких задач на сьогодні прискорює «цифровізація» процесів виробництва. «Цифровізація» на сьогодні є провідним сучасним технологічним трендом і включає в собі три методи - віртуальний інжиніринг, цифровий двійник та адитивні технології [2–4].

Наскрізна технологія виробництва металічних деталей та відповідно вузлів агрегатів та машин машинобудування складається з наступних основних послідовних технологічних операцій:

- різка заготовок прокату;
- кування або штампування готових деталей чи поковок та штамповок під наступну обробку різанням;
- лиття готових деталей чи литих заготовок під обробку різанням;
- обробка поковок, штамповок і виливок різанням;
- при необхідності термообробка деталей;
- при необхідності покриття деталей;
- монтаж вузлів та машин.

Числове програмне керування (ЧПК) роботою відповідного механічного обладнання, що використовують у машинобудуванні для обробки заготовок зараз набрало високий темп розвитку. Створено обладнання з ЧПК: - для різки металу; - виготовлення моделей лиття; - кування, - штампування, - для 3Д друку готових деталей чи заготовок, для різноманітних операцій з обробки металів різанням.

Основна частина. Віртуальний (використання комп'ютерних засобів) інжиніринг (сучасний термін проектування і пусконаладочного процесу) можливо в загальному виді для технології машинобудування можливо формулювати як техніко-економічне обґрунтування проекту виготовлення, проектування нової технології виготовлення, проектно-технічний нагляд за переробкою вхідних заготовок в деталь, вузол, машину (рис. 1).

На порядку денному сьогодні стоїть цифровий двійник. Це тренд світових компаній. Складові цифрового двійника в стислому вигляді для технологій виготовлення механічного обладнання в загальному виді можливо представити як опис технічних характеристик виробу, розрахункові моделі, симуляційні моделі, щоб верифікувати свої розрахункові моделі та уточнювати різні параметри для реального процесу, виконувати аналіз, пропонувати поліпшення.

Прикладом може бути платформа Industrial Internet of Things (IIoT). Цифровий двійник в цілому можливо представити як віртуальну репліку реального фізичного виробу [2–4].

Адитивні технології, наприклад, для технології машинобудування це технології виробництва металевих деталей пошаровим наплавленням методом 3Д друку у процесі виробництва заготовок близьких по формі до готових деталей (з металічного порошку чи з проволони).

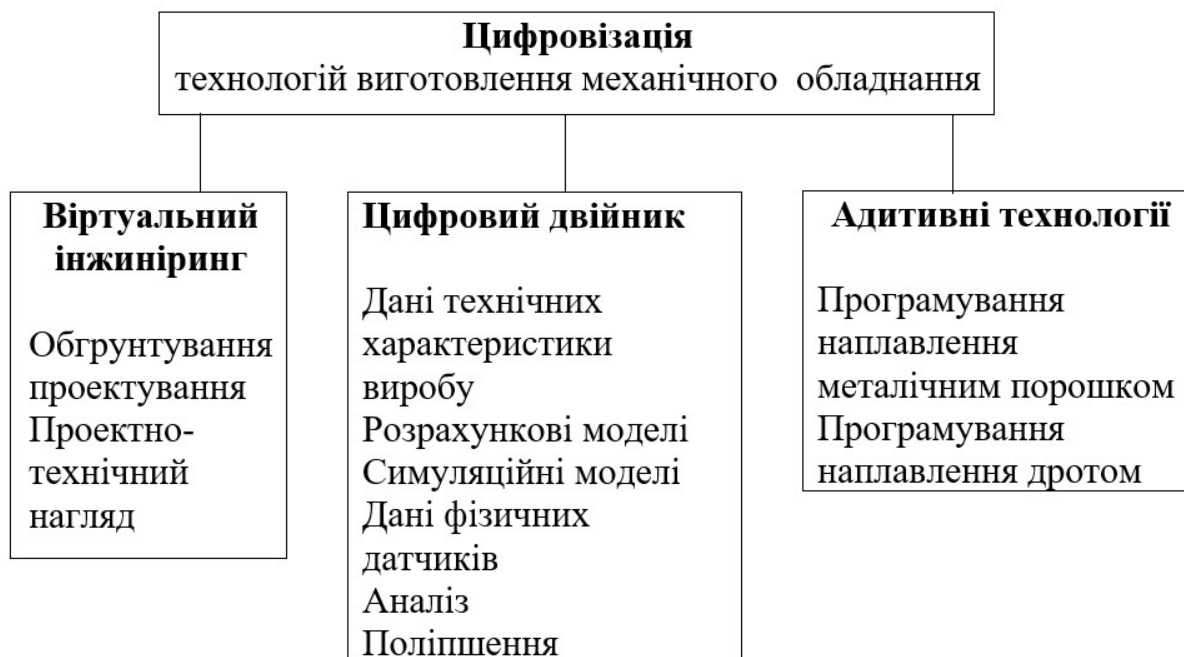


Рис.1. Модель складових у «цифровізації» технологій виготовлення механічного обладнання

Приведемо приклади з застосування програмування на обладнанні з числовим програмним керуванням (ЧПК) у складових наскрізної технології виготовлення металічних деталей в технології машинобудування.

При різці, наприклад, листових заготовок [3, 4] використовують верстати з числовим програмним керуванням різальної головки (рис. 2).



Рис. 2. Верстат з ЧПК для різки металу

Стосовно виготовлення штамповок можливо привести приклад застосування пресів з числовим програмним керуванням, рис. 3 [4].



Рис. 3. Прес-лазер з ЧПК для виготовлення деталей холодною штамповкою з лазерним різанням [4]

В основному в останнє десятиліття зроблено важливий крок у розробках технологій та обладнань та у впровадженні поперечно-клинової прокатки (рис. 4 та рис. 5) замість деяких операцій кування та штампування [5]. На порядку стоять питання застосування елементів цифровізації у цьому процесі та відповідно і ЧПК в обладнанні.

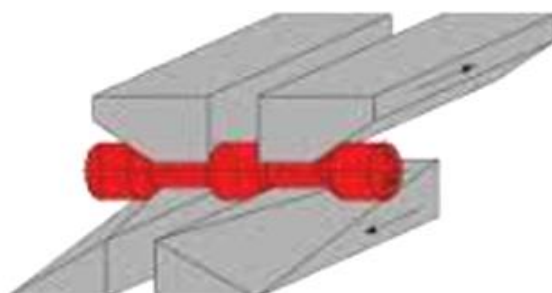


Рис. 4. Схема поперечно-клинової прокатки [5]

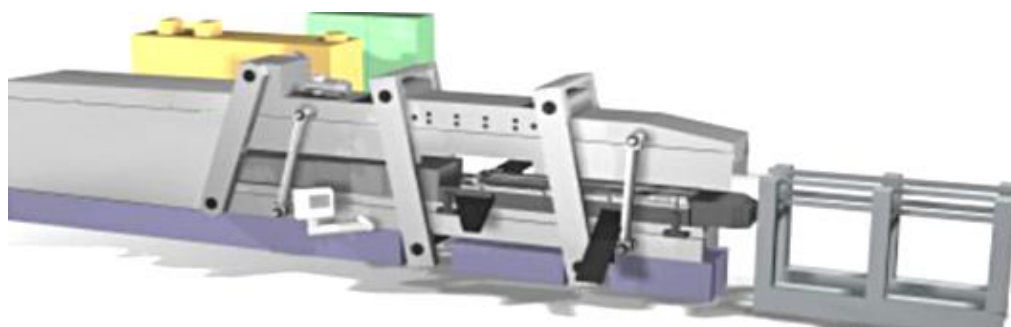


Рис. 5. Стан поперечно-клинової прокатки [5]

Поперечно клинова прокатка дозволяє за одну операцію на одному верстаті і за один технологічний хід площинного клинового інструменту одержувати заготовку під наступне різання чи, що ще краще, одержувати готову деталь.

Це деталі типу ступінчастий вал (вали електродвигунів, золотники, штуцери, вісі, вали, шпинделі та інше) виробів кріплення (болти, шпильки). При цьому зменшується кілька операцій різання, чи операції різання заміняють на більш прості. Зменшуються витрати металу. У деяких випадках поперечно-клинова дозволяє отримувати безпосередньо готові деталі або зменшувати кількість і складність операцій різання.

Верстати з ЧПК використовують для виробництва моделей у ливарному виробництві [6] (рис. 6).



Рис. 6. Фрезерний верстат з ЧПК для модельного виробництва [6]

Аддитивні технології можливо використовувати для виробництва готових деталей чи для виробництва заготовок для наступної механічної обробки (рис. 7) [7]. Області застосування: промислове виробництво, медицина, стоматологія, виготовлення металевих медичних пристосувань і імплантів, розробка матеріалів, виробництво інженерних деталей, освіта, приладобудування, автомобілебудування та інше. Технології з застосування 3Д принтингу вже широко увійшли в технологію виготовлення різноманітних деталей на верстатах з ЧПК [8].

Окремо слід відзначити широке розповсюдження технологій виготовлення деталей на верстатах з механічної обробки заготовок на станках з ЧПК (рис. 8) [9].



Рис. 7. 3D принтер з ЧПК для адитивного виробництва деталей [7]



Рис. 8. Токарний верстат з ЧПК [9]

Основою для використання у спеціальних програмних продуктів в проектуванні технологій різання на станках з ЧПК є проектна документація (креслення). Для проектування машин та деталей використовують потужні програмні продукти AUTODESK, SolidWorks [9].

У виготовленні деталей для програмування верстатів з ЧПК застосовують такі програмні продукти як ESPRIT CAM, Autodesk, NX [9] та інші.

Планування монтажу обладнання використовують з застосуванням програмних продуктів, наприклад, Microsoft Project, Spider Project, Primavera, Open Plan, Project Expert і деякі інші. Зараз їх кількість досягла декількох сотень [10].

Ці програмні продукти підходять для різних питань з планування наскрізних технологій виготовлення механічного обладнання в машинобудуванні.

Аналіз комп'ютерних продуктів з програмування технологій операцій різання показав, що в цих програмних продуктах є функції з згладжування переходів між лініями, що описують траєкторії переміщення різців. Процедура згладжування на сьогодні є індивідуальною для кожного випадку і залежить в цілому від кваліфікації спеціаліста.

Це вказує, що є необхідність з створення методу згладжування переходів між лініями. Основою такого методу можуть бути лінії Безьє (рис. 9) [10].

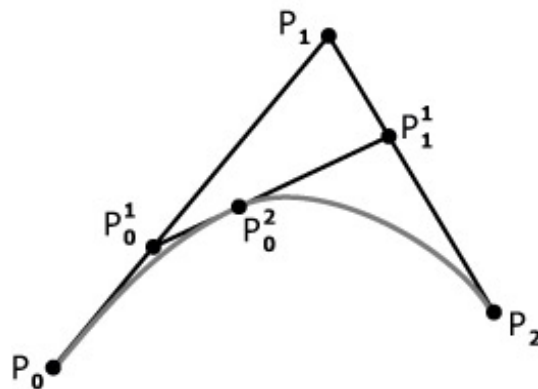


Рис. 9. Крива Безьє з трьома опорними точками:

$(P_0, P_1 \text{ і } P_2)$: P_{01} – змінюється від P_0 до P_1 і описує лінійну криву Безьє; P_{11} змінюється від P_1 до P_2 і описує лінійну криву Безьє; P_{02} змінюється від P_{01} до P_{11} і описує квадратичну криву Безьє [10]

Наприклад, при шліфування поверхні рівчака калібру станів холодної прокатки труб закон зміни значення радіуса валка від вісі валка до вершини рівчака калібру описують чотири лінії різної кривизни.

Між цими лініями необхідно виконувати процедуру згладжування, так як ці лінії мають різну кривизну.

Розробники калібровок інструменту запропонували застосовувати лінію Безьє, де можливо мати змінну кривизну [10]. Це забезпечило плавне сполучення цих ліній.

Математично крива Безьє ступені n задається залежністю:

$$\bar{P}_n(t) = \sum_{i=1}^n B_n^i(t) \bar{P}_i \quad t \in [0,1],$$

де $\bar{P}_n(t) = \{X_i, Y_i, Z_i\}$ – координати i -тої вершини розімкнутого трикутника $P_0 \dots P_n$;

$B_n^i(t) = C_n^i (1-t)^{n-i} t^i$ – базис Бренштейна;

$C_n^i = \frac{n!}{(n-i)!i!}$ – біноміальний коефіцієнт.

Це один з актуальних наукових напрямків розвитку технологій механічної обробки на станках з ЧПК.

Приведений вище аналіз застосування комп'ютерних засобів програмування в розробці наскрізних технологій виготовлення механічного обладнання у машинобудуванні ліг в основу створення моделі основних складових наскрізної технології виготовлення металічних деталей машинобудування і елементів «цифровізації» (рис. 10).

Програмні продукти для планування технологій виробництва механічного обладнання машин			
Різка заготовок прокату з металургійного виробництва	Кування або штампування поковок чи штамповок під наступну обробку. Лиття готових деталей чи заготовок під обробку	Обточування, фрезерування, довбання, шліфування електроерозійне вирізування, інше	Монтаж вузлів та агрегатів машин
ЧПК різального верстата	ЧПК кувальним молотом чи штамповочним молотом. ЧПК верстатів по виробництву моделей для лиття. ЧПК принтерів з адитивних технологій виливки. ЧПК принтерів адитивних технологій наплавлення (з порошків чи з дротів)	ЧПК різноманітних станків лезвійної обробки заготовок	Програмні продукти для планування технологій монтажу машин

Рис. 10. Модель основних складових наскрізної технології виготовлення металічних деталей у машинобудуванні і з елементів «цифровізації»

Висновки. Показано, що загально прийнята наскрізна технологія виробництва металічних деталей та відповідно вузлів агрегатів та машин у машинобудуванні складається з основних послідовних технологічних операцій: різка заготовок прокату; кування або штампування готових деталей чи поковок та штамповок під наступну механічну обробку різанням; лиття готових деталей чи литих заготовок під обробку; обробка поковок чи штамповок та виливок різанням; при необхідності термообробка деталей; при необхідності покриття деталей; монтаж вузлів та машин.

Аналіз інформації по кожній складовій технології показав, що в них застосовуються програмні продукти числового програмного керування.

Розроблено модель складових у «цифровізації» технологій виготовлення механічного обладнання та модель основних складових наскрізної технології виготовлення металічних деталей машинобудування і елементів «цифровізації».

Обґрунтовано актуальність наукових розробок у згладжування стиків ліній, що описують форми деталей виробів. Запропоновано ширше застосовувати можливості ліній Безьє.

Перелік посилань

1. Іщук, С.О. (2022). *Розвиток машинобудування в Україні: проблеми та шляхи їх вирішення: монографія*. ДУ “Інститут регіональних досліджень імені М.І. Долишнього НАН України”.
2. Проців, В.В., Козечко, В.А., Дербабя, В.А. & Богданов, О.О. (2021). Сучасні полімерні матеріали та технології в 3D-прінтингу. *Збірник наукових праць НГУ*, 65, 107–117. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/65.107>
3. Bohdanov, O., Protsiv, V., Derbaba, V. & Patsera. S. (2020). Model of surface roughness in turning of shafts of traction motors of electric cars. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (1), 41-45. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-1/041>
4. Дорошенко, В.С. (2021). Методи цифровізації ливарно-металургійного виробництва: віртуальний інжиніринг, цифровий двійник, адитивні технології. *Метал та литво України*, 4, 62-65.
5. *Верстат лазерної різки металу* (n.d.). <https://ua.teslaweld.com/lazernyy-standok-chpu>
6. *Пресс-лазер з ЧПК ОЦК0126Ф4.02Л* (n.d.). <https://ua.all.biz/uk/pres-lazer-zi-chpu-ock0126f402l-na-bazi-g1991400>
7. *Устаткування для фрезерування з ЧПК* (n.d.). <https://www.facebook.com/instankoservis/videos>
8. *3D принтер SLM EP-M150 от E-PLUS 3D - 3D-Device* (n.d.). <https://3ddevice.com.ua>
9. *Токарний верстат з ЧПК AVIA E-turn 40*. (n.d.). <https://www.met.ua/p/e-turn-40-tokarnyj-verstat-z-chpu/>
10. Григоренко, В.У., Пилипенко, О.П. & Головченко, О.П. (2015). *Розвиток методу розрахунку параметрів процесу холодної пільгерної прокатки труб і калібровки інструмента: Монографія*. Пороги.

ABSTRACT

Purpose. Development of elements of programming on equipment with numerical software control in end-to-end technologies of manufacturing mechanical equipment in mechanical engineering.

Method. It represents the analysis of scientific and technical information on "digitalization" in the development and issues of development of end-to-end technologies for the manufacture of mechanical equipment in mechanical engineering and the synthesis of tasks and development.

The results. It is shown that the generally accepted technology for the production of metal parts and, accordingly, units of aggregates and machines in mechanical engineering consists of the main sequential technological operations: cutting of rolled blanks; forging or stamping of finished parts or forgings and stampings for subsequent mechanical processing by cutting; casting of finished parts or cast blanks for processing; processing of forgings or stampings and castings by cutting; if necessary, heat treatment of parts; if necessary, covering of parts; - assembly of nodes and machines. The given examples for each component technology showed a wide range of numerical

software control products. A model of components in the "digitalization" of mechanical equipment manufacturing technologies and a model of the main components of the end-to-end technology of manufacturing metal engineering parts and "digitalization" elements have been developed. The relevance of developments on smoothing the joints of lines describing the shapes of product details is substantiated. It is proposed to use the possibilities of Bezier lines more widely.

Scientific novelty. The elements of scientific novelty are in the created model of "digitization" of the components of end-to-end technologies for the manufacture of mechanical equipment in mechanical engineering and in the formulation of the application of Bezier lines for smoothing the joints of tool movement lines in the development of technological processes.

Practical significance. The results of the article can be used in the development of end-to-end technologies for manufacturing mechanical equipment in mechanical engineering.

Keywords: *engineering technologies, mechanical equipment, numerical control, software products, CAD-CAM systems, three-dimensional models, Bezier lines.*