

DOI 10.32820/2079-1747-2020-25-107-113

УДК 621.941.0.15:681.5

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРИ ПЕРЕНЕСЕННЯ ФОРМ І РОЗМІРІВ З 3D-МОДЕЛІ НА РЕАЛЬНИЙ ВИРІБ

©Гордєєв А.С.*Українська інженерно-педагогічна академія***Інформація про автора:**

Гордєєв Андрій Сергійович: ORCID: 0000-0001-6521-3937; gordeew@ukr.net; доктор технічних наук; професор кафедри інформаційних комп'ютерних технологій і математики; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна

Метою роботи є становлення розмірних і економічних зв'язків при виготовленні об'ємних листових виробів з термопластичних матеріалів з використанням САМ-технологій. При цьому вирішується актуальна науково-практична задача, яка полягає в необхідності розробки наукових основ підвищення якості та ефективності виготовлення панелей інтер'єру з листових термопластичних матеріалів в умовах дискретно-нестабільних програм випуску.

Плазово-шаблони метод виготовлення тонкостінних панелей має широке застосування. Підвищення точності взаємної ув'язки деталей при цьому досягається побудова технологічних процесів за принципом пов'язаного виготовлення форм і розмірів об'єктів виробництва. Поява високоточних багатокоординатних обробних центрів, дозволяє в корені змінити технологію виготовлення тонкостінних панелей. Технологічний процес являє собою сукупність операцій по виготовленню віртуальної 3D-моделі виробу, аналітичного контуру що задано, виготовлення оснастки на обробних центрах, формоутворення панелі і її механічна обробка. Даний технологічний процес (САМ-технологія) менш трудомісткий порівняно з плазово-шаблонною технологією, дозволяє випускати продукцію дрібними серіями, а часто і в одиничних екземплярах при високій якості і меншу собівартість.

В результаті проведеної роботи було встановлено аналітичну залежність зміни точності форм і розмірів при переході від 3D -моделі до реального виробу, що дозволяє призначати допуски на формоутворювальне оснащення з урахуванням подальшого викривлення заготовок.

Ключові слова: якість і ефективність виготовлення панелей з листових термопластичних матеріалів, САМ-технології, дрібносерійне виробництво, байєсовські методи, модель багаточинника ефективності технологічної підготовки виробництва, 3D-модель.

Гордєєв А.С. «Обеспечение точности при переносе формы и размера с 3D-модели на реальное изделие».

Целью работы является становление размерных и экономических связей при изготовлении объемных листовых изделий из термопластичных материалов с использованием САМ-технологий. При этом решается актуальная научно-практическая задача, которая заключается в необходимости разработки научных основ повышения качества и эффективности изготовления панелей интерьера из листовых термопластичных материалов в условиях дискретно-нестабильных программ выпуска.

Плазово-шаблонный метод изготовления тонкостенных панелей имеет широкое применение. Повышение точности взаимной увязки деталей при этом достигается побудовою технологических процессов за принципом связанного изготовления форм и размеров объектов производства.

Появление высокоточных многокоординатных обрабатывающих центров, позволяет в корне изменить технологию изготовления тонкостенных панелей. Технологический процесс представляет собой совокупность операций по изготовлению виртуальной 3D-модели изделия, аналитического контура что задано, изготовление оснастки на обрабатывающих цен-

трах, формообразования панели и ее механическая обработка. Данный технологический процесс (САМ-технология) менее трудоемок по сравнению с плазово-шаблонной технологии, позволяет выпускать продукцию мелкими сериями, а часто и в единичных экземплярах при высоком качестве и меньшую себестоимость.

В результате проведенной работы было установлено аналитическую зависимость изменения точности форм и размеров при переходе от 3D-модели к реальному изделию, позволяет назначать допуски на формообразующую оснастку с учетом дальнейшего искривления заготовок.

Ключевые слова: качество и эффективность изготовления панелей из листовых термопластичных материалов, САМ-технологии, мелкосерийное производство, байесовские методы, модель многофакторного эффективности технологической подготовки производства, 3D-модель.

Gordeev A. «Ensuring accuracy when transferring shape and size from a 3D model to a real product».

The aim of the work is the establishment of dimensional and economic ties in the manufacture of bulk sheet products from thermoplastic materials using CAM technologies. At the same time, an urgent scientific and practical problem is solved, which consists in the need to develop scientific foundations for improving the quality and efficiency of manufacturing interior panels from thermoplastic sheet materials in the conditions of discrete-unstable release programs.

Plazo-template method of manufacturing thin panels is widely used. The increased accuracy of the reciprocal linking of parts, when reached, is achieved by the prompt technological processes following the principle of the linked selection of forms and distribution of virology. The advent of high-precision multi-axis machining centers allows fundamentally changing the technology of manufacturing thin-walled panels. The technological process is a set of operations for the manufacture of a virtual 3D-model of the product, the analytical circuit that is set, the manufacture of equipment at machining centers, panel shaping and its mechanical processing. This technological process (CAM technology) is less time-consuming compared to the plazo-template technology and allows manufacturing products in small numbers, and often in single copies with high quality and lower cost.

As a result of the work, an analytical dependence of the change in the accuracy of shapes and sizes during the transition from the 3D-model to the real product was established, which allows assigning tolerances on the forming tooling taking into account the further bending of the workpieces.

Keywords: quality and production efficiency of panels from thermoplastic sheet materials, CAM technology, small-scale production, Bayesian methods, model of multifactor efficiency of technological preparation of production, 3D-model.

Вступ

Однією з умов ефективної діяльності промислових підприємств є забезпечення оптимального поєднання показників якості та надійності продукції, що випускається. Міжнародні стандарти якості ISO 9000 для реалізації цієї умови передбачають комплекс заходів різного рівня і функціонального призначення, що дозволяють забезпечити «життєвий цикл» продукції, які включають етапи розробки, забезпечення, виготовлення та реалізації.

Найважливішою складовою інноваційного проекту є виробничий етап, в ході якого створюється сукупний продукт, що включає оригінальні або запозичені рішення в конструкції, матеріалах, технологіях. Інноваційна складова присутня у всіх компонентах і реалізується шляхом застосування функціональних матеріалів, високопродуктивних технологій і сучасних програмних пакетів для створення динамічних моделей.

Залежно від умов функціонування спеціалізованого підприємства можливі різні методологічні підходи до підвищення характеристик продукції, що випускається за допомогою інноваційних проектів. Найбільш простим і очевидним є підхід, заснований на придбанні ін-

новаційних продуктів у вигляді технологічного обладнання, матеріалів, конструкцій і використанні їх на існуючому підприємстві з подальшою реалізацією виробів на ринку.

Робота присвячена вирішенню актуальної науково-практичної задачі, яка полягає в необхідності розробки наукових основ підвищення якості та ефективності виготовлення панелей з листових термопластичних матеріалів в умовах дискретно-нестабільних програм випуску. Результатом роботи є наукові і методичні положення по розробці САМ-технологій в дрібносерійне виробництво, а також підвищення його ефективності.

Метою роботи є становлення розмірних і економічних зв'язків при виготовленні об'ємних листових виробів з термопластичних матеріалів з використанням САМ-технологій.

Перші серйозні роботи по оброблюваності полімерних композитів з'явилися в СРСР в 30-і роки. П.М.Козлов [5] вивчив дію композитів на стан ріжучого інструмента, зробив висновки про вплив складу пластмас на стан різальних крайок. У ці ж роки з'явилася робота Л.І.Лисенко [5], який встановив взаємозв'язок між зносом різального інструменту і якістю обробленої поверхні. У 40-60 роках опубліковано ряд робіт з вивчення процесу різання волокнистих полімерних композитів, де особливо виділяються роботи М.Н.Ларіна, С.В.Егорова, А.І.Саєва [6]. В роботі С.В.Егорова вперше вивчена роль силового і температурного факторів при обробці пластмас. На прикладі обробки склотекстолітів зроблений аналіз процесу стружкоутворення. При цьому утвориться стружка надлому, яка багато в чому визначає шорсткість обробленої поверхні. С.В.Егоров встановив зв'язок між зносом різального інструменту і якістю поверхні.

Найбільш ґрунтовними роботами того часу з'явилися дослідження А.І. Саєва [6], в яких визначені оптимальні геометричні параметри і режими фрезерування при обробці термопластичних і наповнених пластмас.

Особливе місце займають дослідження, що проводяться в Харківському політехнічному інституті під керівництвом М.Ф.Семко. Даний напрямок розвивається на базі глибокого навчання фізичних явищ процесу обробки пластмас. В цей час публікуються роботи [7-11], що показують можливість ефективної обробки склотекстолітів, гетинаксів, текстоліту, азбестоцементу на операціях точіння, фрезерування, свердління, різання. Велике місце в роботі [1] займає вивчення теплових явищ, які багато в чому визначають ефективність роботи ріжучого інструменту і формування якості обробленої поверхні.

САМ-технологія виготовлення віртуальної 3D-моделі та виробу

Плазово-шаблонний метод виготовлення тонкостінних панелей має широке застосування. Підвищення точності взаємної ув'язки деталей при цьому досягається побудовою технологічних процесів за принципом пов'язаного виготовлення форм і розмірів об'єктів виробництва. Цей принцип передбачає утворення форм і розмірів декількох деталей, які підлягають точної взаємної ув'язки шляхом перенесення на всі ці деталі форми і розмірів загального вхідного еталона. Процес перенесення зазвичай має багатоетапний характер: форму і розміри вихідного еталона, побудованого з теоретичного креслення, прямим копіюванням переносять на вторинні еталони, потім на пристосування і з пристосувань на деталі.

Точне виготовлення вихідних еталонів з теоретичних кресленнями представляє найбільші труднощі. Причина полягає в тому, що виробництво до недавнього часу не мало верстатів для точної обробки складних великогабаритних поверхонь за розмірами, зазначеним в кресленнях, і тому поверхні оброблялися вручну висококваліфікованими робітниками за допомогою універсальних інструментів. Точне ж копіювання форми і розмірів вихідного еталона на наступних етапах технологічного процесу здійснюється значно простіше і часто піддається механізації.

Поява високоточних багатокоординатних обробних центрів, дозволяє в корені змінити технологію виготовлення тонкостінних панелей. Технологічний процес являє собою сукупність операцій по виготовленню віртуальної 3D-моделі виробу, аналітичного контуру що задано, виготовлення оснастки на обробних центрах, формоутворення панелі і її механічна обробка. Даний технологічний процес (САМ-технологія) менш трудомісткий порівняно з пла-

зово -шаблонною технологією, дозволяє випускати продукцію дрібними серіями, а часто і в одиничних екземплярах при високій якості і меншу собівартість.

При використанні нового технологічного процесу виникають труднощі аналітичного опису 3D-моделі виробу. Дана модель будується не за конструкторським кресленням, а з урахуванням технологічних факторів, що впливають на якість готового виробу. Іншими словами, модель повинна враховувати усадку матеріалу виробу, відхилення від форми країв панелі внаслідок термічних впливів в ході механічної обробки, просторові похибки формотворним оснащенням.

Недостатня точність контурів окремих перетинів і їх взаємного положення викликає порушення плавності поверхні виробу і загальне спотворення його форми (рис. 1).

Таким чином, в САМ-технології на перше місце виступає аналітичне завдання контуру виробу з урахуванням його зміни на технологічних переходах.

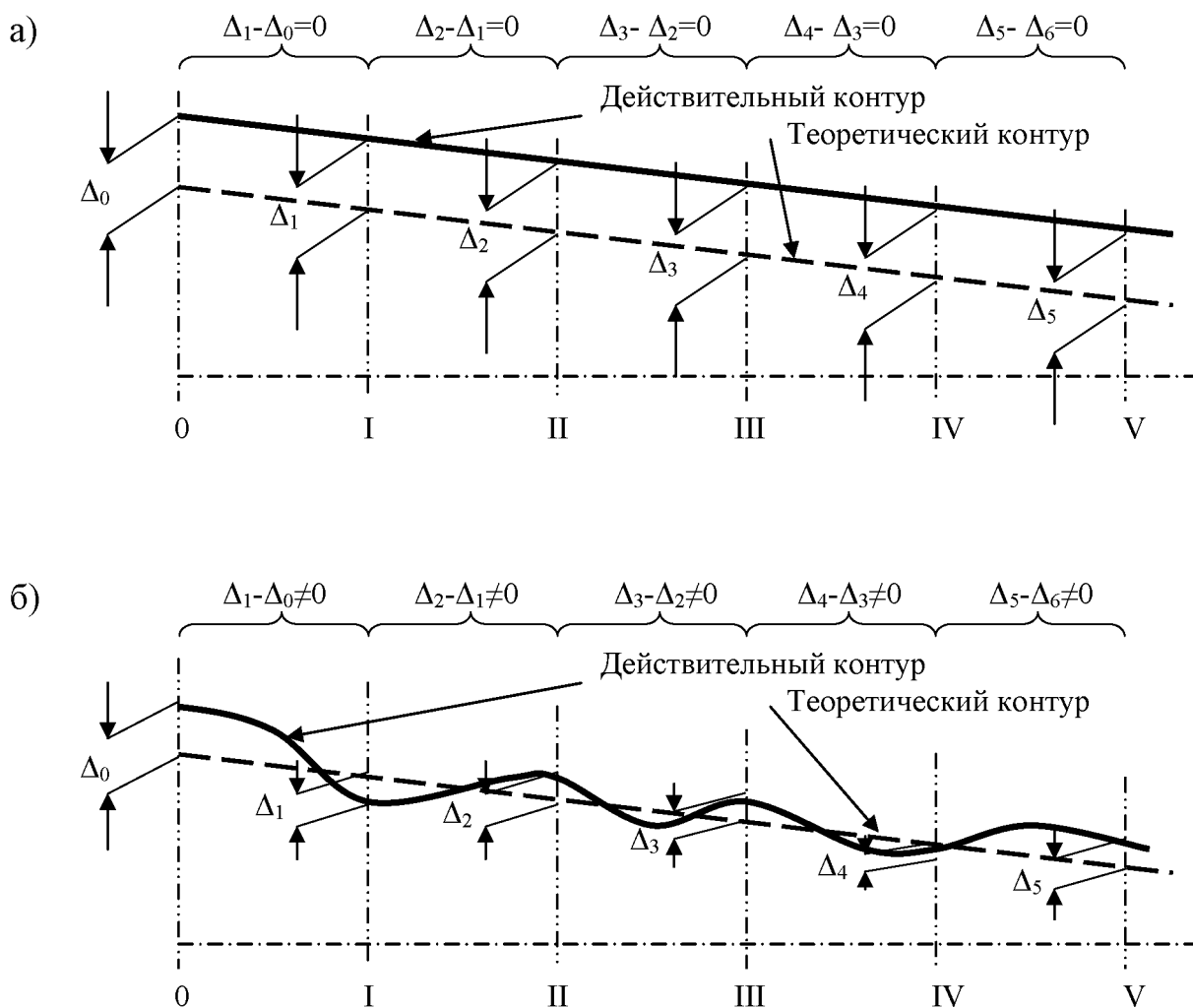


Рис. 1 - Вплив похибок розмірів окремих перетинів на плавність поверхні: а - випадок абсолютно точної ув'язки розмірів перетину; б - порушення плавності поверхні при наявності похибок розмірів окремих перетинів; Δ_i - виробнича похибка розміру i -го перетину.

Одним з головних переваг, які дає аналітичне опис контуру в порівнянні з графічними способами побудови контурів (застосовуваного в плазово -шаблонному методі), є досягнення будь-якої необхідної точності у визначенні координат точок, за якими будуються контури.

Графічне побудова контурів особливо важко, якщо вони мають великі габарити. У таких випадках доводиться користуватися важким, дорогим і незручним інструментом. Трудо-

місткість робіт при цьому велика, а досяжна точність низька. При проведенні розрахунків контурів великі розміри агрегатів не створюють будь-яких істотних труднощів.

При аналітичному завданні контуру тонкостінних панелей використовуються криві другого порядку. Суттєвою особливістю способу кривих другого порядку є те, що параметри поздовжніх кривих задаються конструктором, а параметри поперечних перерізів визначаються на основі поздовжніх кривих. Таким чином, можна сказати, що параметри поперечного перерізу є функціями поздовжніх кривих.

Для поздовжніх кривих розрахункову методику будують, виходячи з стандартизації деяких параметрів, і завдяки цьому розрахунок спрощується. Сенс розрахунку полягає у визначенні дискримінанту f для теоретичного креслення з урахуванням технологічних факторів, що впливають на кінцеву якість виробу.

Радіус кривизни контуру ρ в точці сполучення визначається за формулою

$$\rho_1 = \frac{2f_1^2}{(1-f_1)^2} \cdot \frac{a_1^2}{b_1}, \quad (1)$$

де b - ордината початкової точки кривої; a - абсцисса кінцевої точки; f_i - дискримінант відповідного ділянки кривої (рис. 2).

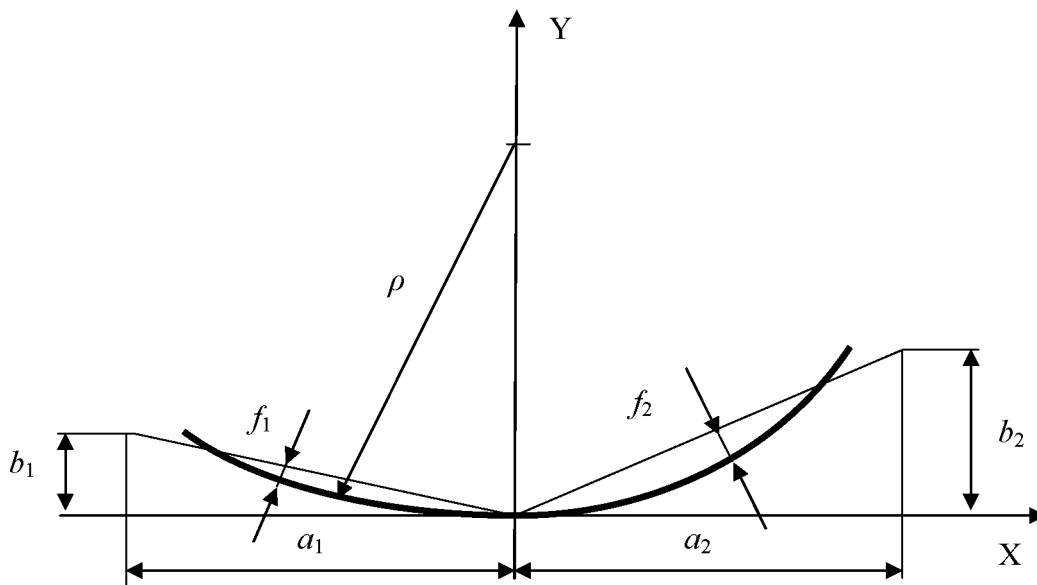


Рис. 2 – Сполучення двох кривих другого порядку.

Так як в точці сполучення ρ_2 повинен дорівнювати ρ_1 , то отримуємо рівняння щодо невідомої величини f_2

$$\rho_1 = \frac{2f_2^2}{(1-f_2)^2} \cdot \frac{a_2^2}{b_2}. \quad (2)$$

Вирішуючи рівняння (2) щодо f_2 , отримуємо формулу для визначення дискримінанту кривої при відомому радіусі кривизни в початковій точці

$$f_2 = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{2a_2^2}{b_2 \cdot \rho_1}}}. \quad (3)$$

Висновки

Встановлено аналітичну залежність зміни точності форм і розмірів при переході від 3D-моделі до реального виробу, що дозволяє призначати допуски на формоутворювальну оснащення з урахуванням подальшого викривлення заготовок.

Список використаних джерел:

1. Свердлина И. И. Адаптивное управление качеством изготовления деталей / И. И. Свердлина // *Современные технологии : сб. научн. статей.* – СПб : Изд-во СПбГИТМО (ТУ), 2012. – С. 286–291.
2. Балеев В. И. Управление качеством: проблемы, перспективы / В. И. Балеев // *Сертификация.* – № 4. – 2013. – С. 18–19.
3. Бендат Дж. Измерение и анализ случайных процессов / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М. : Мир, 1971. – 298 с.
4. Глудкин О. П. Всеобщее управление качеством / О. П. Глудкин. – М. : Лаборатория базовых знаний, 2011. – 451 с.
5. Ерохин А. А. Обработка резанием стеклопластиков / А. А. Ерохин. – М. : Машиностроение, 2006. – 254 с.
6. Забашта В. Ф. Технологическая подготовка производства конструкций из композиционных материалов / В. Ф. Забашта. – Киев : Техника, 2003. – 145 с.
7. Big savings with RP-foal forming tools / A. Godwin // *Modern Plastics.* – 2016. – Vol.43, No.5. – Pp. 84–85.
8. Eleventh annual seminar on plastics for tooling / G. Potvin // *Engineering Bulletin of Purdue University.* – No. 139. – Pp. 47–67.
9. King R. *Handbook of High-speed Machining technology* / R. King. – New York; London, 2017. – 504 p.
10. König W. *Machining of New Materials* / W. König, P. Grab // *Annals of CIRP.* – 2010. – Vol. 39/2. – Pp. 673–681.
11. *Tooling for Aircraft and Missile Manufacture.* Prepared under the supervision of American society of Tool and Manufacturing Engineers. Mc Graw-Hill Book Company / J. Cribbs. – New York; Toronto; London, 2007. – 403p.

References

1. Sverdlina, II 2012, 'Adaptivnoe upravlenie kachestvom izgotovlenija detalej', *Sovremennye tehnologii*, Izdatelstvo Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo instituta tochnoj mehaniki i optiki, Sankt-Peterburg, pp. 286–291.
2. Baleev, VI 2013, 'Upravlenie kachestvom: problemy, perspektivy', *Sertifikacija*, no. 4, pp. 18-19.
3. Bendat, Dzh & Pirsol, A 1971, *Izmerenie i analiz sluchajnyh processov*, Mir, Moskva.
4. Gludkin, OP 2011, *Vseobshhee upravlenie kachestvom*, Laboratorija bazovyh znaniy, Moskva.
5. Erohin, AA 2006, *Obrabotka rezaniem stekloplastikov*, Mashinostroenie, Moskva.
6. Zabashta, VF 2003, *Tehnologicheskaja podgotovka proizvodstva konstrukcij iz kompozicionnyh materialov*, Tehnika, Kiev.
7. A. Godwin 2016, 'Big savings with RP-foal forming tools', *Modern Plastics*, vol. 43, no. 5, pp. 84-85.
8. G. Potvin, 'Eleventh annual seminar on plastics for tooling', *Engineering Bulletin of Purdue University. Engineering extension series*, no. 139, pp. 47-67.
9. King, R 2017, *Handbook of High-speed Machining technology*, New York, London.
10. König, W & Grab, P 2010, 'Machining of New Materials', *Annals of CIRP*, vol. 39/2, pp. 673-681.
11. J. Cribbs 2007, *Tooling for Aircraft and Missile Manufacture.* Prepared under the supervision of American society of 1 Tool and Manufacturing Engineers. Mc Graw-Hill Book Company, New York, Toronto, London.

Стаття надійшла до редакції 21 лютого 2020 р.