

УДК 621.9.06:658.512

С.М. Смаль, В.А. Вітюк, А.П. Монін

*Державна акціонерна холдингова компанія «Артем», Київ***СКОРОЧЕННЯ ТЕРМІНІВ ВПРОВАДЖЕННЯ У ВИРОБНИЦТВО ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ КЕРОВАНОЇ РАКЕТИ**

Висвітлено питання конструкторсько-технологічного проектування в процесі підготовки виготовлення корпусних деталей. Наведено результати тривимірного моделювання операції механічного свердління при проектуванні технологічних процесів. Моделювання процесу базується на методі скінченних елементів і виконано за допомогою спеціалізованої інтегрованої системи. Проаналізовано вплив технологічних параметрів на силовий режим свердлення отворів в алюмінієвих сплавах. Розроблено схему організації робіт наскрізним паралельним методом при технологічній підготовці виробництва деталей, одержуваних механічним різанням. Виконано оцінювання скорочення термінів впровадження у виробництво технологічних процесів, які розробляються із застосуванням інтегрованих систем.

Ключові слова: корпусна деталь, моделювання, конструкторсько-технологічне проектування, технологічні параметри, наскрізний паралельний цикл робіт.

Вступ й формулювання проблеми у загальному вигляді

Вимоги споживача й умови ринку змушують виробника випускати нові вироби або модернізувати існуючі у виробництві. Так, за останні три десятиліття в машинобудуванні строки виготовлення виробів скоротилися більше ніж в п'ять разів. Тому основними факторами успіху роботи підприємства в умовах постійного відновлення номенклатури є зменшення часу етапів підготовки виробництва виробів, що випускаються. Це можливо шляхом скорочення усіх строків виконання конструкторсько-технологічних робіт, які за своїм обсягом перевищують 50 – 70% від загального з підготовки виробництва. При виготовленні складної військової техніки ці фактори є основними, оскільки до деталей і виробів ставляться спеціальні вимоги щодо забезпечення високої якості й функціональних властивостей. Одним з визнаних у світовій практиці способів підвищення ефективності роботи підприємства є загальне застосування інформаційних технологій. Виконання конструкторсько-технологічної підготовки з використанням різних CAD/CAM/CAE систем можуть дати істотне скорочення строків підготовки виробництва тільки при організації робіт наскрізним паралельним методом. У цьому випадку вже на стадії проектування виконуються певні роботи з технологічної підготовки й календарного планування, що й стає головним фактором скорочення строків.

Вищесказане дає підставу констатувати, що забезпечення зниження строків підготовки виробництва виробу із застосуванням інформаційних технологій є загальною актуальною науково-технічною проблемою сучасного виробництва.

Аналіз останніх публікацій і постановка завдання дослідження. Військова техніка як об'єкт виробництва потребує значного часу на виконання

проектних робіт і технологічну підготовку. Це обумовлено наявністю складних у конструктивному виконанні корпусних деталей, для яких використовують спеціальні метали й сплави.

Скорочення строків впровадження у виробництво технологічних процесів можливе на етапі проектування за допомогою інтегрованих систем, коли теоретичний аналіз і дорогий експеримент замінюються комп'ютерним моделюванням процесів. Це дозволяє розробляти раціональну конструкцію деталі з урахуванням особливостей технології її виготовлення й параметрів процесу. У проектуванні процесів виготовлення корпусних деталей механічним різанням проблемними питаннями є інженерний аналіз і визначення технологічних параметрів обробки. Існуючий традиційний метод визначення параметрів ґрунтується на застосуванні великої кількості емпіричних формул і коефіцієнтів [1]. Він є трудомістким, не відповідає можливостям сучасних обробних центрів із ЧПК й не може застосовуватися для аналізу операцій, наприклад свердлення отворів у відповідальних деталях. В останні три роки з'явилися спеціалізовані інтегровані системи, які дозволяють моделювати механічну обробку зі зняттям стружки [2]. У роботі [3] наведено деякі результати моделювання свердлення сталі 45, на підставі чого оцінено вплив геометрії свердла й встановлено нерівномірність розподілу навантаження. У монографії [4] авторами викладено основи тривимірного геометричного моделювання процесу формоутворення при різанні. Ця робота є більшою мірою теоретичною але у ній не розглядаються питання моделювання формоутворення різанням з позицій технології.

Використання в процесі проектування інтегрованих систем різко скорочує строки підготовки, однак найбільш значного скорочення можна досягти у разі паралельної організації виконання конструкторсько-технологічних робіт у єдиному інформацій-

ному просторі. Окремі результати організації виконання робіт наскрізним паралельним методом наведено в рекламі на сайтах розроблювачів інтегрованих систем вищого рівня [5]. Інформація має тільки загальний опис результатів і отримана при практичній апробації на конкретних підприємствах. Теоретичні розробки у цьому напрямку не виконувалися і нині вони відбиті окремими статтями [6, 7].

Таким чином, аналіз публікацій показав відсутність технічно обґрунтованих параметрів режимів свердлення стосовно до сучасних обробних центрів із ЧПК. Немає також теоретичних розробок з організації робіт при наскрізному паралельному методі. Тому розробку методів і алгоритмів моделювання процесів виготовлення деталей і організації виконання робіт конструкторсько-технологічної підготовки з метою скорочення строків можна вважати актуальною.

Метою роботи є оцінювання наскрізного паралельного методу проектування корпусних деталей при конструкторсько-технологічній підготовці виробництва на основі моделювання операцій свердлення отворів.

Виклад основного матеріалу

Керована ракета, схему якої подано на рис. 1, є літальним апаратом, який має конструктивні й технологічні особливості, що властиві тільки такій техніці. Наявність складних і високоточних деталей, які одержують механічною обробкою різанням, приводить до індивідуального проектування технологічних процесів їхнього виготовлення.

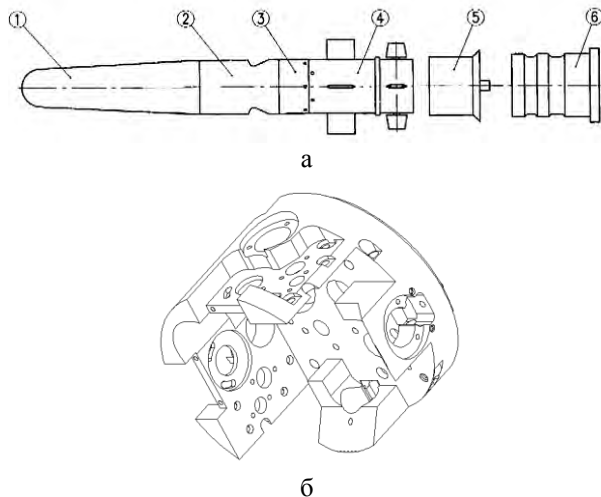


Рис. 1. Керована ракета: а – схема; 1, 2 – головна й середня частини; 3, 4 – блоки корпусу; 5, 6 – блоки хвостової частини, б – корпусна деталь, що одержують механічною обробкою різанням

Типова корпусна деталь (рис. 1, б) має велику кількість площадок, що одержують фрезеруванням, із численними отворами різних діаметрів, розташування яких дуже складне. Причому до точності й

співвісності отворів висувають високі вимоги. З погляду на перелічені особливості корпусних деталей на стадії проектування потрібно виконати оптимізацію технологічних параметрів процесів утворення отворів. При прийнятній точності прогнозування параметрів свердлення, комп'ютерне моделювання дозволяє одержати значно більше інформації про перебіг процесу різання, поведінку інструменту й устаткування. Цю інформацію можливо вже урахувати на етапі проектування без проведення експериментального дослідження.

Розглянемо моделювання процесу свердління й деяких його результатів.

1. Тривимірне моделювання процесу механічного свердління

Існуючі інтегровані системи, які призначені для моделювання процесів різання, базуються на чисельних розрахунках методом скінчених елементів (МСЕ). Суть методу полягає в розподілі досліджуваного об'єкта на прості елементи, наприклад об'ємні тетраедри з малими розмірами й більшою їхньою кількістю. Скінченно-елементна модель прямує за рухом «частинок» металу, дозволяє детально відстежити всі аспекти деформації й початковий момент руйнування по всьому об'єму заготовки. Програма автоматично будує скінченно-елементну сітку на поверхні й в об'ємі інструменту й заготовки. Для збільшення точності розрахунків у досліджуваних місцях передбачено перебудову сітки в процесі рахування в міру необхідності.

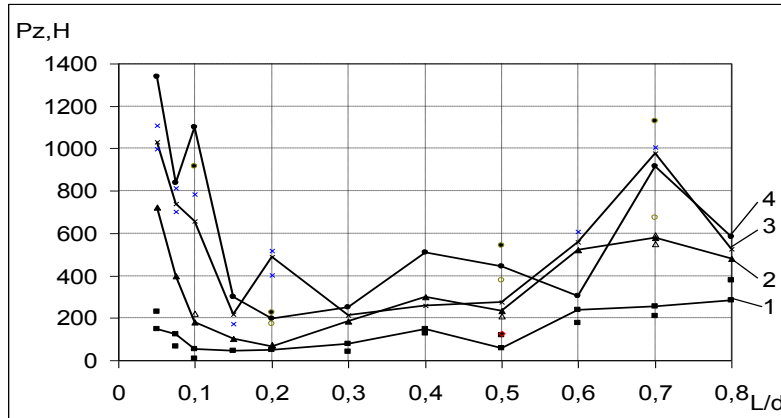
У нашому випадку моделювання процесу свердління складалося з таких основних етапів:

- розроблення геометричної моделі інструменту й заготовки виконувалося з використанням бази даних програми: свердла створювалися діаметром 2,8; 5,0; 10,0 мм із матеріалу Carbide 19 %Co, заготовка – циліндр діаметром 34 мм, висотою 3,0 мм;
- визначення законів руху й задання технологічних параметрів: швидкості різання – в інтервалі 70...500 м/хв; подачі – 0,05...0,5 мм/об;
- установа умов процесу: температури – 20 градусів Цельсія, коефіцієнтів тертя, теплообміну та ін.;
- створення скінченно-елементних моделей інструменту й заготовки: оптимальна кількість елементів розбивки для свердла: 7–10 тисяч, для заготовки: 17–20 тисяч;
- подання моделі матеріалу заготовки з алюмінієвого сплаву В95 як пластичне тіло та задання граничних умов які встановлюють закріплення точок елементів на всіх поверхнях і об'єму, крім зони свердління;

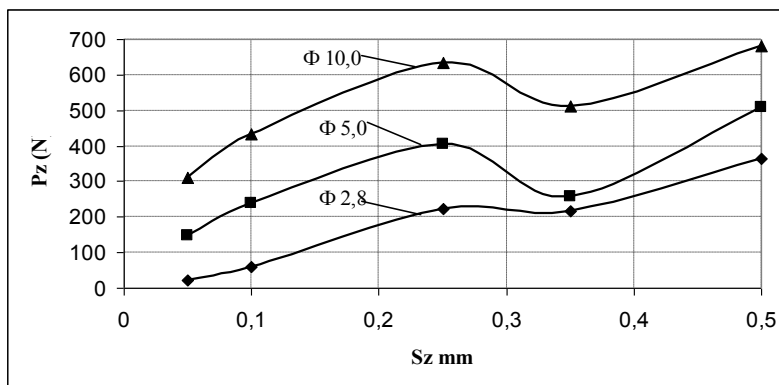
– задання параметрів рахування: кількість кроків приймали не менше 15 тис; крок збереження результату дорівнював одиниці при точних розрахунках, а при інших – 25...50.

Після виконання перелічених етапів робили генерацію бази даних завдання й запуск системи для виконання рахування. На початковому етапі рахування перевіряли відповідність моделювання реальному процесу. Слід зазначити, що на час виконання розрахунків істотно впливає кількість елементів розбивки моделі інструменту й заготовки, а також величина кроку збереження результатів. Збільшення величини подачі як технологічного параметра зме-

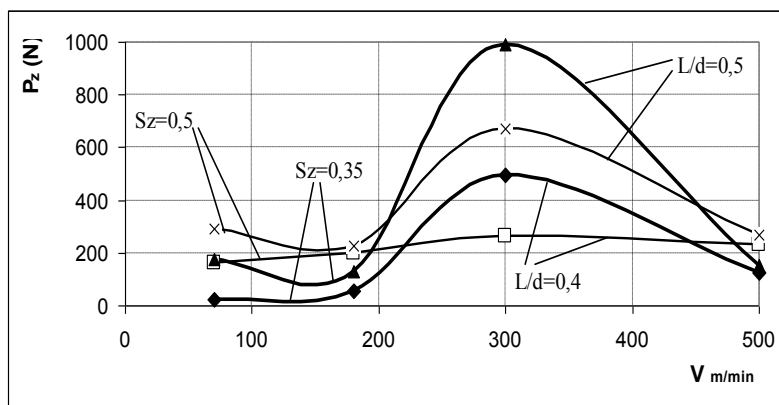
ншує час рахування незначно. Значення параметрів моделі й рахування наведені вище, забезпечували оптимальний комп'ютерний час розрахунків одного завдання, що становило 20...27 годин. Після завершення розрахунку виконувався аналіз силових характеристик процесу й локального напружено-деформованого стану (НДС) у зоні отвору. Результати розрахунків і аналізу з моделювання свердління наведено на рис. 2, а – в.



а



б



в

Рис. 2. Графіки залежності зусилля свердління:
 а – від відносної глибини L/d при різних подачах S_z ,
 де 1 – 0,05 мм/об; 2 – 0,25 мм/об; 3 – 0,35 мм/об; 4 – 0,5 мм/об;
 б – величини подачі свердла при різних d ;
 в – швидкості різання V м/хв при різних S_z і L/d

Моделювання виконано для високоміцного алюмінієвого сплаву В95 з діаметром свердла $d=5$ мм, швидкістю різання $V=1,167$ м/с (70 м/хв) при різній осьовій подачі S_z і відносній глибині свердління L/d . Дослідженнями встановлено нерівномірний характер зусилля свердління по глибині отвору (рис. 2, а). У момент контакту свердла з металом відбувається різке зростання значення зусилля до максимального при малому відносному впровадженні до 0,003...0,05. На цьому етапі переважають контактні пластичні деформації від впровадження перемички свердла в поверхневі шари металу. З моменту початку процесу різання крайками свердла зусилля різко знижується (в 5 – 10 разів) при незначній глибині свердління (до 0,15) і надалі стрибками відбувається його зменшення в діапазоні відносної глибини 0,15...0,3. В інтервалі відносної глибини свердління 0,5...0,7 відбувається поступове збільшення зусилля. З відносної глибини 0,7 настає зниження зусилля свердління через зменшення довжини контакту різальних крайок з металом у результаті виходу свердла. При збільшенні величини подачі зусилля свердління зростають, але характер залежностей залишається аналогічним. Збільшення величини подачі в десять разів приводить майже до десятикратного збільшення зусилля тільки на початковому етапі процесу. Надалі збільшення подачі не пропорційно збільшує зростання зусилля.

Аналізуючи вплив подачі свердла на величину зусилля (рис. 2, б), можна відзначити плавне зростання зусилля в 4 – 5 разів зі збільшенням подачі для свердел діаметром до п'яти міліметрів і в 2,5 рази для свердел діаметром більше десяти міліметрів. При подачі близько 0,35 мм/об спостерігається утворення локального мінімуму зусилля, після досягнення якого відбувається подальше плавне зростання.

Вплив швидкості різання на зусилля в інтервалі до 200 м/хв незначний (рис. 2, в) і майже не залежить від глибини й подачі. Подальше збільшення швидкості різання з 200 до 450 м/хв по-різному впливає на зусилля залежно від величини подачі.

Так, у цьому інтервалі швидкостей зусилля різання при подачі 0,35 мм/об стає більше, чим при подачі 0,5 мм/об. При досягненні швидкості 300 м/хв з'являються максимальні значення зусилля свердління, після яких відбувається їхнє зменшення. Це зменшення можна пояснити оптимальним сполученням подачі й швидкості. Причому характер кривих для різних величин подачі й відносної глибини ідентичні (рис. 2, в). Подальше збільшення швидкості різання понад 450 м/хв приводить до нормально-го характеру впливу подачі на зусилля, тобто при більших подачах маємо більші зусилля різання і їхнє плавне зменшення. Величина зусилля різання при швидкостях понад 500 м/хв досягає величин, аналогічних при швидкості 70 м/хв.

2. Оцінювання наскрізного паралельного методу виконання конструкторсько-технологічних робіт при підготовці виробництва деталей

На сучасних підприємствах досягнута локальна автоматизація конструкторсько-технологічних робіт при створенні виробу, що забезпечує послідовний цикл організації цих робіт. Однак існуючі нині системи автоматизованого проектування й моделювання дозволяють одержувати рішення для багатьох деталей складальних одиниць ще до закінчення всіх робіт з виробу.

Так інтегрована система Pro/ENGINEER, що є системою високого рівня, дозволяє виконувати роботи в режимі наскрізного паралельного методу. Він визначає комплексне поняття проектування виробу як конструкторське проектування, інженерний аналіз, проектування оснащення й розроблення керуючих програм. По всіх цих розділах підготовки виробництва деталей і складальних одиниць одночасно здійснюються роботи в єдиному інформаційному середовищі. При такій організації робіт можна визначити деталі нижнього рівня й деталі високого рівня готовності для виробництва. Під високим рівнем готовності конструкторських рішень деталей і складальних одиниць розуміють рішення, при яких зміни конструкторських параметрів складальних одиниць і деталей нижніх рівнів практично виключаються. Тобто високий рівень готовності дає можливість виконувати комплекси робіт для цих одиниць з технологічної підготовки й календарного планування, не чекаючи закінчення попередніх робіт.

Виконання цієї умови дозволяє говорити про можливість організації паралельного циклу конструкторсько-технологічних робіт підготовки. У підсумку маємо комплексне рішення всіх питань підготовки виробництва наскрізним паралельним методом, що відбито на розробленій схемі (рис. 3).

Суть організації робіт розглянуто на прикладі конструкторсько-технологічної підготовки деталей, які одержують механічною обробкою різанням. Усі роботи з підготовки виробництва поділено на два етапи.

Як видно, вже на першому етапі проектування паралельно з об'ємним моделюванням й інженерним аналізом виконуються певні роботи з технологічної підготовки. Частина цих робіт є попередньою й має віртуальне виконання в комп'ютері. При досягненні попередніми роботами необхідної готовності віртуально виконані роботи з технологічної підготовки закінчуються й переходять у наступну категорію готовності.

На другому етапі підготовки завершується розробка конструкторської документації й повного комплексу технологічної документації на виготовлення деталей.

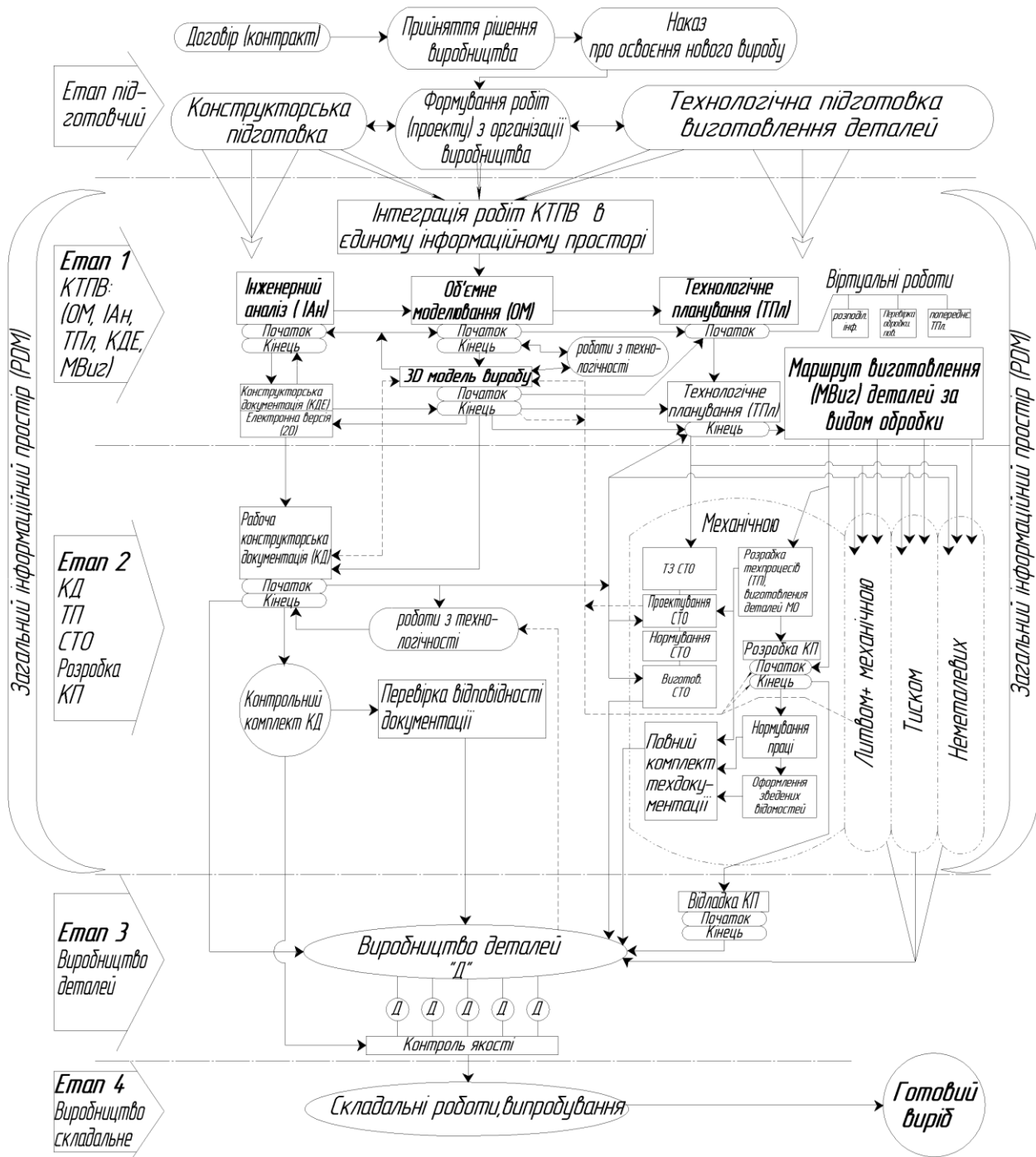


Рис. 3. Фрагмент схеми наскрізного паралельного методу конструкторсько-технологічної підготовки

Такий цикл дозволяє організувати роботи одночасно численних колективів виконавців як з конструкторської, так і технологічної підготовки завдяки єдиній інформаційній моделі виробу.

Впровадження наскрізного паралельного методу дозволило скоротити строки конструкторсько-технологічної підготовки виробництва корпусних деталей за рахунок: зменшення часу виконання конструкторських робіт на 57% завдяки застосуванню інтегрованих технологій проектування й моделювання в єдиному інформаційному просторі; ско-

рочення часу на зміни, узгодження й оформлення документації на 83 %; скорочення загальної кількості робіт шляхом мінімізації кількості повернень для повторного проектування на 27 %; зміни логіки взаємозв'язку робіт і скорочення періодів очікування їхнього виконання на 32 %; забезпечення системи економічного та фінансового управління підприємством оперативною і об'єктивною інформацією; за попереднім оцінюванням загальне зменшення строків на підготовку виробництва корпусних деталей склало 43%, а зниження собівартості – на 30 %.

Виводи й перспективи подальших досліджень

Виконано тривимірне моделювання процесу механічного свердління й числове оцінювання його параметрів для алюмінієвого сплаву В95. Визначено параметри рахування, які дозволяють здійснювати виконання розрахунків за прийнятний для виробництва час. Досліджено вплив величини подачі й швидкості різання на силову характеристику свердління. Отримані результати дослідження механічного свердління було використано при конструкторсько-технологічному проектуванні корпусних деталей, що дозволило зменшити час розробки на 57 %.

Виконано оцінювання скорочення строків впровадження у виробництво технологічних процесів виготовлення корпусних деталей, що показало їхнє зниження в 1,5 – 1,7 раза завдяки використанню комп'ютерних технологій.

На основі результатів моделювання можна виконати подальші дослідження щодо впливу геометричних розмірів елементів свердла на зусилля свердління й локального ПДВ зони отвору. Також потребує виконання досліджень щодо впливу різних факторів на здійснення наскрізного паралельного методу.

Список літератури

1. *Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мецеракова. 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.*

2. *Kuhn D. Повышение эффективности процессов обработки путем применения систем CAD/CAM // Maschinenmarkt. – 2007. – № 10. – С. 36-37.*

3. *Криворучко Д.В. Моделирование процессов обработки материалов резанием / Д.В. Криворучко, В.А. Залого, М.Г. Сторчак // Мир техники и технологий (МТТ). The World of Technics and Technologies. – М., 2009. – № 1(86). – С. 40-41.*

4. *Грабченко А.И. 3D-Моделирование инструментов, формообразования и съема припуска при обработке резанием / А.И. Грабченко, Е.Б. Кондусова, А.В. Кривошея, Н.С. Равская, П.Р. Родин / под ред. члена-корреспондента НАН Украины, д.т.н. Родина П.Р. – Х.: НТУ «ХПИ», 2001. – 304 с.*

5. *Сайт компании PTS-russia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pts-russia.com/clients/customers.htm>.*

6. *Дружинин С.А. Системні моделі інтеграції проектування, технологічної підготовки та виробництва у разі застосування наскрізного паралельного циклу створення виробу / С.А. Дружинин, С.М. Смаль // Системи озброєння і військова техніка. – 2007. – №4(12). – С. 75-79.*

7. *Смаль С.М. Імовірнісна модель процесу конструкторсько-технологічної розробки корпусної деталі / С.М. Смаль // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2008. – №10(57). – С. 231-233.*

Надійшла до редколегії 24.09.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.С. Тараненко, Національний аерокосмічний університет «ХАІ», Харків.

СОКРАЩЕНИЕ СРОКОВ ВНЕДРЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ УПРАВЛЯЕМОЙ РАКЕТЫ

С.Н. Смаль, В.А. Витюк, А.П. Монин

Приведены результаты трехмерного моделирования операции механического сверления при разработке технологических процессов изготовления корпусных деталей. Моделирование процесса базируется на методе конечных элементов и выполнено с помощью специализированной интегрированной системы. Проанализировано влияния технологических параметров на силовой режим сверления отверстий в алюминиевых сплавах. Разработана схема организации работ сквозным параллельным методом при технологической подготовке производства деталей, получаемых механическим резанием. Выполнена оценка сокращения сроков внедрения в производство технологических процессов разработки с применением интегрированных систем проектирования.

Ключевые слова: корпусная деталь, моделирование, конструкторско-технологическое проектирование, технологические параметры, сквозной параллельный цикл работ.

REDUCTION OF TERMS OF APPLYING IN INDUSTRY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF MAKING CABINET-TYPE DETAILS THE GUIDED ROCKET

S.Í. Smal, V.A. Vityuc, A.P. Monin

The results of three-dimensional design of operation of the mechanical boring are resulted at development of technological processes of making of cabinet-type details. The design of process is based on the method of eventual elements and executed by the dedicated computer-integrated system. Influences of technological parameters are analysed on the power mode of wimbling in aluminium alloys. The chart of organization of works a through parallel method is developed at technological preproduction details, got the mechanical cutting. The estimation of reduction of terms of applying in industry of technological processes is executed developed with the use of the computer-integrated systems of planning.

Keywords: box-type work piece, modeling, finite elements method, engineering and process design, process parameters, stresses, deformations.