

УДК 621.452.03-027.3:621.98.044

doi: 10.32620/aktt.2019.7.21

А. В. ОНОПЧЕНКО

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Україна***КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ДЕФЛЕКТОРА З ВИКОРИСТАННЯМ ІМПУЛЬСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Розроблення технологічних процесів штампування вибухом є досить складною задачею підготовки виробництва авіаційних двигунів. Порівняно великі складність і тривалість підготовки виробництва, а також досить висока вартість штампів потребують ретельного розроблення технологічних процесів і обґрунтованого вибору технічно раціонального і економічно найефективнішого варіанта технологічного процесу, який відповідає певному масштабу виробництва. Навіть невеликі подальші змінення технологічних процесів зазвичай призводять до перероблення штампів або проектування і виготовлення нових, що потребує значного часу і коштує досить дорого. Проаналізовано конструктивні особливості тонколистової деталі, яка є складовою частиною турбовального двигуна Д-136, який використовують на важких транспортних вертольотах Мі-26. Дефлектор має куполоподібну форму, для підвищення жорсткості передбачено ребра жорсткості; форма деталі – вісесиметрична. Після штампування-втяжки необхідно застосувати механічне оброблення (свердлення отворів на фланці для кріплення дефлектора), що значно знижує технологічність. Точність деталі визначається точністю оброблення робочої поверхні матриці. Відхилення профілю деталей від робочого профілю матриці залежать від розмірів деталі. Розроблено технологічний процес штампування вибухом дефлектора, який складається з декількох етапів: аналіз конструктивних і технологічних особливостей деталі; визначення форми і розмірів заготовки, а також витрати матеріалу; вибір найраціональнішого технологічного процесу, що забезпечує виготовлення необхідних деталей; визначення типу устаткування, що потребується; вибір типу і технологічної схеми штампа; а також визначення трудомісткості виготовлення штампованих деталей. Розроблено математичну модель опису конструкції дефлектора, яка складається з декількох рівнів складності. Кожний рівень конструкторського опису відповідає за свій етап технологічного процесу. На базі розробленої моделі створено алгоритм і програму розрахунків параметрів технологічного процесу.

Ключові слова: штампування вибухом, технологічність конструкції, математична модель, рівні опису, авіаційний двигун, дефлектор.

Вступ

Неухильне підвищення ефективності виробництва є головним завданням розвитку економіки нашої країни на найближчі роки і на тривалу перспективу. При виконанні поставленої задачі важливе значення надається промисловим підприємствам і вітчизняній науці, перед якими висуваються проблеми, вирішення яких є украй необхідним. Однією з них є виробництво великогабаритних листових виробів (деталі ракет, літаків, двигунів, кораблів та ін.) з високоміцних матеріалів.

Для виготовлення таких деталей в умовах ковальсько-пресового виробництва потрібне дороге устаткування, а в окремих випадках практично неможливо створити потрібні силові установки, для чого необхідні якісно нові енергоносії, принципово нові технологічні процеси.

У нашій країні у пошуках раціонального вирішення складної технологічної проблеми проводяться дослідження в області використання нових

енергоносіїв. Існує можливість застосування під час оброблення металів тиском як енергоносії горючих сумішей і зріджених газів, електромагнітних і електрогідрравлічних сил, а також бризантних вибухових речовин (БВР). Специфічні умови, в яких відбуваються процеси імпульсної деформації заготовок, накладають відбиток на характер поведінки матеріалу заготовки, а також на вибір основних технологічних параметрів процесу.

1. Аналіз конструктивних і технологічних особливостей деталі

Дефлектор – це тонколистова деталь, яка є складовою частиною турбовального двигуна Д-136, який використовують на важких транспортних вертольотах Мі-26.

Дефлектор має куполоподібну форму, встановлюється в носовій частині двигуна і призначений для розмежування масляної порожнини опори і повітряної порожнини обігріву кока (рис. 1).

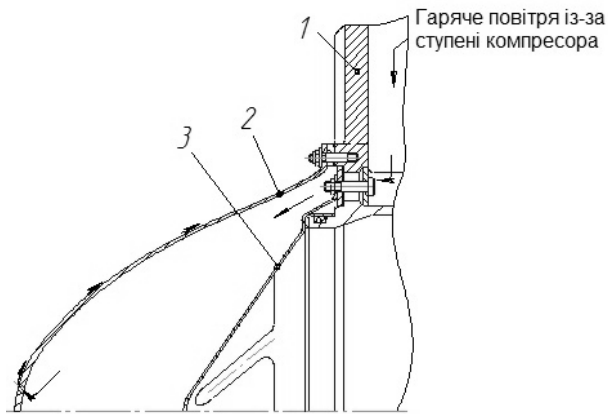


Рис. 1. Протиоблідувальна система двигуна Д-136:
1 – силовий стаяк; 2 – кок; 3 – дефлектор

Куполоподібний дефлектор як характерний представник цього типу деталей виготовляють штампуванням, і він не потребує високої якості поверхні. Точність деталі (після БВП) визначається точністю оброблення робочої поверхні матриці. Відхилення профілю деталей від робочого профілю матриці залежать від розмірів деталі. Для вісесиметричних дниць діаметром до 300 мм відхилення становить 0,3...0,8 мм [1].

Робоча температура в зоні деталі становить 50°C, середовище – умовно агресивне, тому для дефлектора рекомендується використовувати легювану, корозійностійку сталь X18H10T, яка може тривало працювати у зазначених вище умовах.

Для забезпечення герметичності протиоблідувальної порожнини дефлектор з'єднують аргондовим зварюванням з деталлю типу диск.

Для кріплення дефлектора на його фланці розташовано вісім отворів «під болти».

Тиск масляної порожнини суфлірує з атмосферним тиском, а тиск повітряної порожнини обігріву кока близький до такого, що відбирається з компресора, дефлектор має витримувати різницю цього тиску, для чого на його поверхні передбачено ребра жорсткості.

Деталь належить до деталей середньої технологічності: конструкція деталі полегшена – для підвищення жорсткості передбачено ребра жорсткості; для запобігання утворенню складок і гофрів збільшують площу притиснення, тобто збільшують діаметр фланця, що потребує додаткової витрати матеріалу; форма деталі – вісесиметрична. Після штампування-витяжки необхідно застосувати механічну обробку (свердлення отворів на фланці для кріплення дефлектора), що значно знижує технологічність.

2. Проектування заготовки

Початковими даними при визначенні форми і розмірів заготовки є креслення готової деталі, вказівки щодо виду заготовки і характеру термообробки.

При витяжці без стоншування стін зміною товщини матеріалу зазвичай нехтують і визначення розмірів заготовки проводять за умови, що площа поверхні заготовки і готової деталі з припуском на обрізання дорівнюють одна одній, тобто вважаємо, що діаметр заготовки дорівнює довжині деталі твірної.

Для даного випадку витяжки заготовка має форму круга, діаметр якого знаходять за формулою

$$D = 1,13\sqrt{F} = 1,13\sqrt{\sum f}, \quad (1)$$

де F – площа поверхні готової деталі, мм²;

$\sum f$ – сума площ окремих елементів поверхні деталі, мм².

На рис. 2 показано деталь з фланцем. Для підрахунку площі поверхні твірну деталі розділяють на окремі ділянки, площу яких визначають за рядом формул [2], а повну поверхню – сумою площ ділянок.

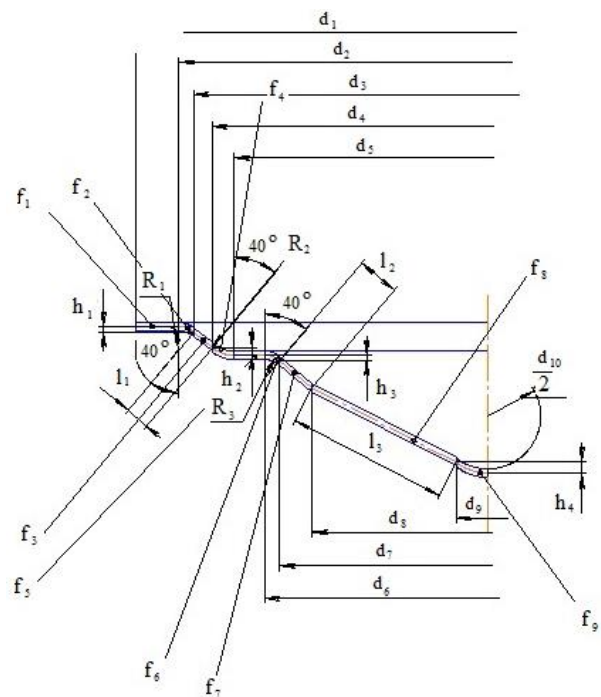


Рис. 2. Розподіл деталі на окремі ділянки

3. Вибір способу отримання початкової заготовки

Спосіб отримання заготовки визначає норму витрати матеріалу і коефіцієнт його використання, істотно впливає на трудомісткість механічної обробки і значною мірою визначає собівартість виробів, що випускаються.

Одночасно правильний вибір виду заготовки має велике значення для розроблення економічно доцільного технологічного процесу виготовлення деталей.

Широко вживані в авіадвигунобудуванні корозійностійкі жароміцні й жаростійкі сплави мають високу міцність у поєднанні з великою в'язкістю і належать до категорії матеріалів, що важко оброблюються різанням.

Крім того, жароміцні сплави схильні до значного зміцнення поверхневого шару при обробленні лезовим інструментом, що призводить до збільшення сил різання і прискореного спрацювання різального інструменту.

Тому одним з основних напрямів розвитку сучасної технології виробництва деталей авіаційних двигунів є зменшення обсягів технологічних процесів зняття шару металу і їх заміни процесами точного поверхневого і об'ємного формування деталей з мінімальною подальшою механічною обробкою або без неї.

Велика вартість витрат на матеріали при виготовленні двигунів пояснюється низьким коефіцієнтом використання металу (КВМ). Нині залежно від технологічності двигуна і ступеня його серійного освоєння коефіцієнт використання металу коливається в межах 0,17...0,33.

Останнім часом спостерігається зростання кількості заготовок, які одержують шляхом лиття, об'ємним і листовим штампуванням.

Розглядувану деталь виготовляють з листа. Розміри листа вибирають з урахуванням розмірів деталі з сортаменту листової гарячекатаної сталі з нормальною точністю, високою площиною і необрізаною кромкою.

Лист розмічають і розрізають на гільйотинних ножицях. Після розмітки на вібраційних ножицях вирізають заготовку, зачищають облої.

Після штампування проводять обрізання фланця, термообробку і контроль деталі.

4. Визначення норми витрати матеріалу при виготовленні дефлектора

Під нормою витрати матеріалу розуміють мінімальну його кількість, яка необхідна для виготов-

лення одиниці виробу згідно з прийнятою технологією.

Норма витрати встановлюється як на основні, так і допоміжні матеріали. Основними матеріалами є матеріали, що входять в конструкцію виробу основного виробництва. Допоміжними матеріалами називають матеріали, що не входять в конструкцію виробу основного виробництва, але необхідні при його виготовленні.

Для деталей з листа норма витрати матеріалу залежить від виду розкрою: індивідуального, групового або змішаного. Найекономічнішим є груповий розкрій.

Норма витрати матеріалу для даної деталі складе

$$N = \frac{q}{\text{КВМ}} \quad (2)$$

або

$$N = f \frac{S}{\text{КВМ}} \gamma, \quad (3)$$

де q – маса заготовки, кг;

f – площа заготовки, м²;

S – розрахункова товщина листа, м;

γ – густина матеріалу, кг/м³.

5. Визначення роботи деформації і розрахунок маси заряду

Одним з основних параметрів, що визначає успішне застосування процесу вибухового штампування, є величина заряду, необхідного для отримання деталі. Від правильного його визначення залежить якість виробу, вартість виготовлення, стійкість оснащення. Можна сказати, що вага заряду визначає техніко-економічні показники процесу.

В основу запропонованої методики розрахунку покладено відомий принцип, що полягає у рівності робіт внутрішніх і зовнішніх сил.

Для визначення величини заряду бризантної вибухової речовини потрібно поставити у відповідність значення роботи пластичної деформації і енергії заготовки, що поглинається, при вибуху заряду в конкретних умовах, обумовлених вибором технологічної схеми. На практиці при проведенні процесу штампування використовують різні схеми, які відрізняються:

– за формою вживаного розряду (сферичний, лінійний);

– за типом контейнера для передавального середовища (разові, стаціонарні, мікробасейни, вибухові камери з жорсткими стінами);

– за конструкцією матриці для штампування (зі спрямовувальною вставкою і вільним відбортовуванням без неї).

Зі всього різноманіття зазначених схем обмежимося розглядом випадку з використанням сферичного заряду і стаціонарного басейну.

Проведемо розрахунок, вважаючи деталь сферичним сегментом.

Для оцінювання величини заряду бризантної вибухової речовини використаємо залежність, запропоновану Р. В. Піхтовниковим і В. І. Зав'яловою [3], яка має такий вигляд

$$G = \left(\frac{a \cdot \delta \cdot L_0^{1,76}}{1 - v^2} M \right)^{0,8}, \quad (4)$$

де G – маса заряду, кг;

L_0 – дистанція підриву заряду, м;

δ – товщина заготовки, м;

a – енергія деформації заготовки, віднесена до поверхні заготовки, що змочується водою (Н•м)/м²;

v – коефіцієнт відбиття ударної хвилі від заготовки, який дорівнює відношенню тиску в подавальній і відбитій хвилях;

M – константа для кожного матеріалу заготовки, яка залежить від його щільності.

Значення v знаходимо за формулою

$$v = \frac{\phi}{2} (1 + e^{-\beta}), \quad (5)$$

де ϕ – коефіцієнт відбиття ударної хвилі

$$\phi = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\rho c - \rho_0 c_0}{\rho c + \rho_0 c_0}; \quad (6)$$

β – коефіцієнт, що ураховує жорсткість заготовки

$$\beta = \frac{\rho_0 c_0 \theta}{\rho S}, \quad (7)$$

де ρ, ρ_0 – щільність матеріалу заготовки і передавального середовища;

c, c_0 – швидкість звуку в заготовці й передавальному середовищі відповідно;

S – товщина заготовки;

θ – характеристичний час.

Величину θ для сферичного заряду визначаємо за залежністю

$$\theta = 10^{-4} G^{\frac{1}{3}} \left(\frac{R}{G^{\frac{1}{3}}} \right)^{0,24}, \quad (8)$$

де R – дистанція вибуху, м;

G – вага (маса) заряду, кг.

Для визначення роботи деформації і величини заряду при штампуванні дефлектора скористаємося програмою розрахунку величини заряду. Для цього введемо початкові дані деталі (рис. 3).

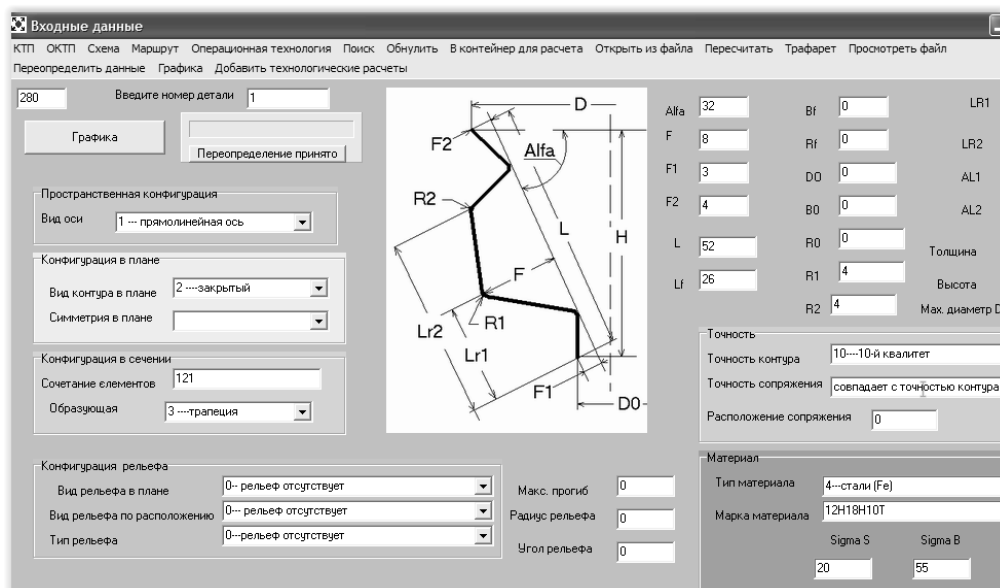


Рис. 3. Экранная форма для ввода начатковых данных

Таким чином, робота, необхідна для отримання заданих параметрів деталі, становить 22339 кДж, маса заряду – 0,140 кг.

Для отримання деталі достатньо чотирьох переходів штампування. Маса величини заряду для кожного переходу становитиме 0,035 кг.

Висновки

Наведена методика дозволяє розраховувати основні технологічні параметри процесу – роботу деформації і величину заряду для витягування деталей з плоских заготовок. Програма розрахунку заряду дозволяє визначити роботу деформації і масу заряду для різних матеріалів, а також заготовок різних діаметрів і товщини.

Література

1. *Беспрессовая листовая штамповка с использованием взрывчатых веществ [Текст] : инструктивный материал.* – М. : Машиностроение, 1965. – 198 с.
2. *Романовский, В. П. Справочник по холодной штамповке [Текст] / В. П. Романовский.* – М. : Машиностроение, 1977. – 520 с.
3. *Пихтовников, Р. В. Штамповка листового металла взрывом [Текст] / Р. В. Пихтовников,*

В. И. Завьялова. – М. : Машиностроение, 1964. – 164 с.

4. *Інтерактивний програмний комплекс для розрахунку технологічних процесів імпульсних технологій. Комп'ютерна програма / В. В. Третьак, А. М. Грінченко, Т. В. Лоза [та ін.] // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 577712 від 19. 12. 2014 р.*

References

1. *BespRESSovaja listovaja shtampovka s ispol'zovaniem vzryvchatyh veshhestv. Instruktivnyj material [Pressless sheet punching using explosives].* Moscow, Mashinostroenie Publ., 1965. 198 p.
2. *Romanovskij, V. P. Spravochnik po holodnoj shtampovke [Cold Stamping Handbook].* Moscow, Mashinostroenie Publ., 1977. 520 p.
3. *Pihtovnikov, R. V., Zav'jalova, V. I. Shtampovka listovogo metalla vzryvom [Explosion Stamping of Sheet Metal].* Moscow, Mashinostroenie Publ., 1964. 164 p.
4. *Tretyak, V. V., Grinchenko, A. M., Loza, T. V., Onopchenko, A. V., Fedorova, A. S. Interaktyvnyj programnyj kompleks dlya rozraxyunku texnologichny'x procesiv impul'sny'x texnologij. Komp'yuterna programa [An interactive software package for the calculation of impulse technologies. Computer program].* Svidocztvo pro reyestraciyu avtors'kogo prava na tvir [Certificate of copyright registration of a work], no. 577712, 19. 12. 2014.

Поступила в редакцию 5.06.2019, рассмотрена на редколлегии 7.08.2019

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА ДЕФЛЕКТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А. В. Онопченко

Разработка технологических процессов штамповки взрывом является достаточно сложной задачей подготовки производства авиационных двигателей. Сравнительно большие сложность и длительность подготовки производства, а также достаточно высокая стоимость штампов требуют тщательной разработки технологических процессов и обоснованного выбора технически рационального и экономически эффективного варианта технологического процесса, который соответствует определенному масштабу производства. Даже небольшие дальнейшие изменения технологических процессов обычно приводят к переработке штампов или проектированию и изготовлению новых, которые требуют значительного времени и стоят достаточно дорого. Проанализированы конструктивные особенности тонколистовой детали, которая является составной частью турбовального двигателя Д-136, который используют на тяжелых транспортных вертолетах Ми-26. Дефлектор имеет куполообразную форму, для повышения жесткости предусмотрены ребра жесткости форма детали – осесимметричная. После штамповки-вытяжки необходимо применить механическую обработку (сверление отверстий на фланце для крепления дефлектора). Точность детали определяется точностью обработки рабочей поверхности матрицы. Отклонение профиля деталей от рабочего профиля матрицы зависит от размеров детали. Разработан технологический процесс штамповки взрывом дефлектора, который состоит из нескольких этапов: анализ конструктивных и технологических особенностей детали; определение формы и размеров заготовки, расхода материала; выбор рационального технологического процесса, который обеспечивает изготовление необходимых деталей; определение типа потребного оборудования; выбор типа и технологической схемы штампа; определение трудоемкости изготовления штампованных деталей. Разработана математическая модель описания конструкции дефлектора, которая состоит из нескольких уровней сложности. Каждый уровень конструкторского описания отвечает за свой этап технологического процесса. На базе разработанной модели создан алгоритм и программа расчетов параметров технологического процесса.

Ключевые слова: штамповка взрывом; технологичность конструкции; математическая модель; уровни описания; авиационный двигатель; дефлектор.

DESIGN-TECHNOLOGICAL PREPARATION OF PRODUCTION DEFLECTORS USING PULSE TECHNOLOGIES

A. V. Onopchenko

The development of explosion punching processes is a rather complicated task for preparing the production of aircraft engines. The relatively large complexity and duration of production preparation, as well as the relatively high cost of the dies, require careful development of technological processes and an informed choice of a technically rational and cost-effective version of the technological process that corresponds to a certain scale of production. Even small further changes in technological processes usually lead to the processing of dies or the design and manufacture of new ones that require considerable time and are quite expensive. The design features of the thin-sheet part, which is an integral part of the D-136 turboshaft engine, which is used on Mi-26 heavy transport helicopters, are analyzed. The deflector has a domed shape, stiffening ribs are provided for stiffening the shape of the part - axisymmetric. After stamping-hoods, it is necessary to apply machining (drilling holes on the flange for mounting the deflector). The accuracy of the part is determined by the accuracy of processing the working surface of the matrix. Deviation of the part profile from the working profile of the matrix depends on the dimensions of the part. The technological process of stamping by the explosion of a deflector is developed, which consists of several stages: analysis of the structural and technological features of the part; determination of the shape and size of the workpiece, as well as the consumption of material; the choice of a rational technological process that ensures the manufacture of the necessary parts; determination of the type of equipment needed; selection of type and technological scheme of the stamp, and determination of the complexity of manufacturing stamped parts. A mathematical model to describe the design of the deflector, which consists of several levels of complexity model is developed. Each level of the design description is responsible for its own stage of the technological process. Based on the developed model, an algorithm and a program for calculating the parameters of the technological process are created.

Keywords: explosion stamping; technological design; mathematical model; description levels; aircraft engine; deflector.

Онопченко Антон Виталиевич – ассистент кафедры технологий производства авиационных двигателей, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

Onopchenko Anton – Assistant of Lecturer of Department of Aircraft Engine Manufacturing Technologies, National Aerospace University “Kharkov Aviation Institute”, Kharkov, Ukraine,
e-mail: a.onopchenko@khai.edu, ORCID Author ID: 0000-0002-9004-4140, ResearcherID: X-1798-2018